

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ANÁLISIS Y MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIVIENDA
FLOTANTE EN ZONAS DE INUNDACIÓN EN EL BARRIO SANTANDER DEL
MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ - META**



Por:
María Andrea Beltrán Acevedo
María Luisa Beltrán Acevedo



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2019**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ANÁLISIS Y MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIVIENDA
FLOTANTE EN ZONAS DE INUNDACIÓN EN EL BARRIO SANTANDER DEL
MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ - META**



Por:
María Andrea Beltrán Acevedo
María Luisa Beltrán Acevedo

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de Ingeniero Civil

Aprobado por:
Ing. Emiro Andrés Lozano Pérez, Esp.
Director

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VILLAVICENCIO
2019**

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray Juan Ubaldo López Salamanca, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Jhon Jairo Gil Peláez, Ph.D.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

Ing. Jhon Jairo Gil Peláez
Decano Facultad Ingeniería Civil

Ing. Emiro Andrés Lozano Pérez
Director Trabajo de Grado

Ing. Oscar Felipe Sáenz Pardo
Jurado

Villavicencio, 18 de diciembre de 2019.

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedicamos a Dios, por darnos salud, entendimiento y sabiduría para culminar con éxito cada una de nuestras metas propuestas.

A nuestros padres y hermanos, por su amor, confianza, esfuerzo y apoyo incondicional en cada una de las etapas de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos culminar con éxito este trabajo, por ser fuente de fe y sabiduría en el transcurso de nuestra formación profesional.

A nuestra familia por ser el motor de motivación en nuestras vidas, gracias por cada oración y consejo, por enseñarnos a ser mujeres íntegras, independientes y responsables.

A nuestro director de tesis, Ingeniero Emiro Lozano, por su compromiso, disponibilidad, paciencia y orientación durante la elaboración de este trabajo de grado, permitiendo que nos desarrolláramos profesionalmente.

A la Universidad Santo Tomás por brindarnos un espacio para adquirir conocimientos y prepararnos como profesionales íntegras.

A nuestros amigos por su paciencia, ánimo, compañía e ideas en las diferentes etapas de este proyecto.

RESUMEN

Los eventos de inundación se generan por las constantes precipitaciones, el incremento de zonas impermeabilizadas, la escasez o inadecuado diseño de un sistema de drenaje y la expansión urbana hacia las rondas hídricas de los afluentes por la falta de disponibilidad del suelo.

El presente documento consiste en el análisis y modelación del comportamiento de una vivienda flotante en zonas de inundación en el barrio Santander del municipio de Puerto López, con el cual se pretende dar solución a los problemas de disponibilidad del suelo sin exponer a la comunidad a los diferentes riesgos que implican los eventos de inundación.

El modelo está compuesto por una estructura flotante y otra habitable, la primera se diseñó en forma de barcaza teniendo en cuenta los parámetros definidos en la Resolución 1918 de 2015, la cual modifica al Decreto 2049 de 1956 (Norma para la construcción, inspección, reparación y clasificación de embarcaciones fluviales); además se realizó un análisis de flotabilidad y estabilidad, con el que se determinó que la estructura tiene la capacidad para soportar las cargas ejercidas por la parte habitable y mantenerse en equilibrio.

Por otra parte, para el diseño de la estructura habitable se consideraron los requerimientos y especificaciones de la NSR-10 para un sistema de pórticos resistente a momentos en acero, donde se comprobó que los elementos son capaces de resistir las solicitaciones de la estructura.

Adicionalmente, por medio de una revisión bibliográfica se estableció un sistema de anclaje y el suministro de los servicios básicos; el primero para restringir los desplazamientos horizontales de la vivienda flotante, evitando que colisione con otras construcciones cada vez que aumente el nivel de agua en la zona de estudio; donde el sistema seleccionado fue el pilotado o de parales en acero, debido a que no requiere de estructuras complejas para su instalación, solo de un anillo metálico que facilita la conexión de los cuatro parales con la vivienda.

Además, se propuso la implementación de energía solar para el sistema eléctrico, tuberías flexibles que permitan la conexión a la acometida durante los eventos de inundación y un sistema séptico integrado en la estructura flotante para el tratamiento de aguas residuales. Finalmente, se calculó el presupuesto del modelo de la vivienda flotante, como guía para una futura construcción.

Palabras claves: Energía renovable, Estabilidad, Flotabilidad, Sistema de anclaje, Vivienda flotante.

ABSTRACT

Flooding events are generated by the constant rainfall, the increase in waterproofed areas, the scarcity or inadequate design of a drainage system and the urban expansion towards the water rounds of the tributaries due to the lack of soil availability.

The present document consists of analysis and modeling of the behavior of a floating house in flood zones in the Santander neighborhood of the municipality of Puerto López, with which it is intended to solve the problems of soil availability without exposing the community to the different risks that involve flooding events.

The model is composed of a floating and a habitable structure, the first one was designed in the form of a barge taking into account the parameters defined in Resolution 1918 of 2015, which modifies Decree 2049 of 1956 (Standard for construction, inspection, repair and classification of river vessels); In addition, an analysis of buoyancy and stability was carried out, with which it was determined that the structure has the capacity to withstand the loads exerted by the habitable part and remain in balance.

On the other hand, for the design of the habitable structure, the requirements and specifications of the NSR-10 for a moments resistant steel gantry system were considered, where it was found that the elements are capable of resisting the structure applicants.

Additionally, an anchoring system and the provision of basic services were established through a literature review; the first for restrict the horizontal displacements of floating house, preventing it from colliding with other constructions whenever the level of water in the study area increases; where the selected system was the steel parales, because it does not require complex structures for installation, only a metal ring that facilitates the connection of the four parales with the house.

In addition, the implementation of solar energy for the electrical system, flexible pipes that allow connection to the water main during flood events and a septic tank integrated in the floating structure for wastewater deposition were proposed. Finally, the budget of the floating housing model was calculated, as a guide for future construction.

Key Words: Renewable energy, Stability, Buoyancy, Anchoring system, Floating housing.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2.1.	PREGUNTA PROBLEMA.....	15
2.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2.3.	HIPÓTESIS	15
3.	JUSTIFICACIÓN	16
4.	OBJETIVOS	17
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	17
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
5.	ALCANCE	18
6.	MARCO DE REFERENCIA.....	19
6.1.	MARCO TEÓRICO.....	19
6.1.1.	Vivienda flotante	19
6.1.2.	Cargas estructurales.....	20
6.1.3.	Sistema de parales	21
6.1.4.	Análisis de flotabilidad y estabilidad	22
6.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	23
6.3.	ESTADO DEL ARTE	24
6.4.	MARCO NORMATIVO	27
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO.....	28
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA	30
8.	METODOLOGÍA	31
8.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	31
8.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	31
8.3.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HABITABLE	31
8.4.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE	31
8.5.	SISTEMA DE ANCLAJE.....	31
8.6.	ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD	32
8.7.	RECOMENDACIONES Y PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE SERVICIOS BÁSICOS	32
8.8.	ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO	32
9.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	33
10.	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	34
10.1.	ASPECTOS CLIMÁTICOS	34
10.2.	HIDROGRAFÍA	34
10.3.	GEOLOGÍA	38
10.4.	GEOMORFOLOGÍA	38
10.5.	VULNERABILIDAD A INUNDACIÓN	39
11.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HABITABLE	41
11.1.	PLANTEAMIENTO ARQUITECTÓNICO.....	41
11.2.	ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES.....	42
11.3.	AVALÚO DE CARGAS.....	42
11.3.1.	Carga Muerta.....	42

11.3.2.	Carga Viva.....	45
11.3.3.	Resumen de Cargas.....	45
11.4.	GRADO DE IRREGULARIDAD DE LA ESTRUCTURA	45
11.5.	CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	46
11.6.	MOVIMIENTO SÍSMICO DE DISEÑO	47
11.7.	FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE	49
11.8.	COMBINACIONES DE CARGAS MAYORADAS USANDO EL MÉTODO DE RESISTENCIA ULTIMA	50
11.9.	MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	51
11.9.1.	Definición del material	51
11.9.2.	Definición de perfiles (Columnas – Vigas).....	52
11.9.3.	Definición de los casos de carga	53
11.9.4.	Definición de la geometría.....	53
12.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE	54
12.1.	DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE.....	54
12.2.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE	55
13.	SISTEMA DE ANCLAJE	58
13.1.	SISTEMA DE VIGAS-GUÍA.....	58
13.2.	SISTEMA DE ANCLAJE MUERTO	58
13.3.	SISTEMA PILOTADO O DE PARALES	59
14.	ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD	61
14.1.	ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD.....	61
14.1.1.	Cálculo de áreas.....	61
14.1.2.	Cálculo de desplazamientos.....	61
14.1.3.	Cálculo de la capacidad transportadora	62
14.1.4.	Coeficiente de flotabilidad.....	63
14.2.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	63
14.2.1.	Estabilidad estática transversal de la estructura flotante	63
14.2.2.	Estabilidad estática longitudinal de la estructura flotante	67
15.	PROPUESTA DEL SISTEMA DE SERVICIOS BÁSICOS	69
15.1.	SUMINISTRO DE ENERGÍA.....	69
15.2.	SUMINISTRO DE AGUA POTABLE	70
15.3.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	71
16.	PRESUPUESTO DE LA VIVIENDA FLOTANTE	73
17.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	74
17.1.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HABITABLE	74
17.1.1.	CHEQUEO DE DERIVAS.....	74
17.1.2.	DISEÑO DE VIGAS	75
17.1.3.	DISEÑO DE COLUMNAS.....	80
17.1.4.	DISEÑO DE CONEXIONES	82
17.1.5.	CONEXIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA FLOTANTE Y HABITABLE ...	85
17.1.6.	DEFLEXIÓN DE LA VIGA	88
17.2.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE	89
17.3.	SISTEMA DE ANCLAJE.....	90

17.3.1.	Diseño de la placa base	90
17.3.2.	Diseño de zapata con carga axial.....	93
17.4.	ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD	97
17.4.1.	Análisis de flotabilidad	97
17.4.2.	Análisis de estabilidad	98
17.5.	PROPUESTA DEL SISTEMA DE SERVICIOS PÚBLICOS	101
17.6.	PRESUPUESTO DE LA VIVIENDA FLOTANTE.....	102
18.	DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES.....	103
19.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	104
19.1.	CONCLUSIONES.....	104
19.2.	TRABAJOS FUTUROS	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	106
	ANEXOS.....	109
	ANEXO A.....	109
	ANEXO B.....	109
	ANEXO C.....	109
	ANEXO D.....	109

LISTA DE TABLAS

Tabla 10.1 Clima de Puerto López, Meta.....	34
Tabla 10.2 Geomorfología de Puerto López, Meta	39
Tabla 11.1 Especificación de los materiales de la estructura habitable	42
Tabla 11.2 Propiedades de la sección PTE 300X300X10	42
Tabla 11.3 Propiedades mecánicas de la sección PTE 300X300X10	42
Tabla 11.4 Peso de los elementos estructurales de la parte habitable	43
Tabla 11.5 Peso de los elementos no estructurales	43
Tabla 11.6 Carga muerta de la vivienda	44
Tabla 11.7 Carga viva de la vivienda	45
Tabla 11.8 Resumen de cargas de la estructura habitable	45
Tabla 11.9 Coeficientes de grado de irregularidad	45
Tabla 11.10 Grado de capacidad de disipación de energía.....	46
Tabla 11.11 Sistema estructural de pórtico resistente a momentos.....	46
Tabla 11.12 Valores de Aa, Av, Ae, Ad y definición de la zona de amenaza sísmica	47
Tabla 11.13 Valores del Coeficiente Fa	47
Tabla 11.14 Valores del Coeficiente Fv	48
Tabla 11.15 Valor de los parámetros Ct y α	48
Tabla 11.16 Parámetros sísmicos para el espectro elástico	49
Tabla 11.17 Valores del espectro de aceleración	49
Tabla 11.18 Datos para la fuerza horizontal equivalente	50
Tabla 11.19 Fuerza horizontal equivalente	50
Tabla 11.20 Combinaciones de cargas mayoradas	51
Tabla 12.1 Dimensiones de la estructura flotante	54
Tabla 12.2 Verificación de condiciones para las dimensiones de la estructura flotante	54
Tabla 12.3 Platinas para cuadernas y refuerzos en pulgadas	55
Tabla 12.4 Dimensiones de las cuadernas para una eslora menor de 20 metros ..	56
Tabla 12.5 Espesores mínimos de las planchas del casco.....	56
Tabla 14.1 Datos para el análisis de flotabilidad.....	61
Tabla 14.2 Cálculo del desplazamiento útil remanente.....	62
Tabla 14.3 Centro de masa y momento vertical de la unidad	66
Tabla 16.1 Resumen del presupuesto de cada actividad general por costo unitario	73
Tabla 17.1 Derivas máximas como porcentaje	74
Tabla 17.2 Registro de derivas obtenidas en el software ETABS.....	75
Tabla 17.3 Datos para realizar el diseño a tensión	76
Tabla 17.4 Chequeo de esbeltez de los elementos de la sección	77
Tabla 17.5 Valores límites de la Relación Ancho a Espesor para Elementos de Miembros a Compresión Axial	80
Tabla 17.6 Tamaño mínimo de soldaduras de filete	84
Tabla 17.7 Especificaciones de la Platina 550 X 550 X 13	85
Tabla 17.8 Resistencia nominal para pernos y piezas roscadas	86

Tabla 17.9 Espacimientto entre perforaciones y distancia al borde	87
Tabla 17.16 Dimensiones de los elementos de la estructura flotante	89
Tabla 17.17 Datos para el diseño de la placa base de cada paral	90
Tabla 17.18 Datos para el diseño por aplastamiento de la placa para cada paral.....	93
Tabla 17.19 Datos para el diseño de una zapata con carga axial.....	93
Tabla 17.20 Cortante bidireccional de zapata.....	95
Tabla 17.21 Acero requerido para zapata cuadrada.....	96
Tabla 17.22 Acero colocado para la zapata cuadrada.....	97
Tabla 17.23 Peso del agua desalojada.....	98
Tabla 17.24 Peso de la estructura flotante y habitable con sus respectivos desplazamientos de agua.....	98
Tabla 17.25 Estabilidad estática transversal.....	100
Tabla 17.26 Estabilidad estática longitudinal	101
Tabla 17.27 Resumen del presupuesto del valor total de cada actividad general.....	102
Tabla 18.1 Resultados	103
Tabla 18.2 Impactos esperados.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1 Composición de una vivienda flotante	19
Figura 6.2 Tipos de estructuras flotantes	20
Figura 6.3 Sistema de fijación.....	21
Figura 6.4 Empuje y flotación.....	22
Figura 6.5 Ubicación Geográfica.....	28
Figura 6.6 Ubicación Barrio Santander	29
Figura 10.1 Geología de la zona de estudio	38
Figura 10.2 Área con condición de amenaza y riesgo	40
Figura 11.1 Planteamiento Arquitectónico de la estructura habitable	41
Figura 11.2 Material de la estructura metálica: Acero ASTM 500 Grado C	51
Figura 11.3 Material de la losa maciza: Concreto $F'c$ 21 MPa	52
Figura 11.4 Definición de los perfiles (columnas – vigas)	52
Figura 11.5 Definición de los casos de carga	53
Figura 11.6 Definición de la geometría de la estructura habitable	53
Figura 13.1 Sistema de vigas – guía.....	58
Figura 13.2 Sistema de anclaje muerto	59
Figura 15.1 Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada	69
Figura 15.2 Estructura de un panel fotovoltaico.....	70
Figura 15.3 Tubería PEX	71
Figura 15.4 Tanque séptico integrado	72
Figura 17.1 Valores límites de esbeltez para miembros de acero sometidos a flexión	77
Figura 17.2 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K	81
Figura 17.3 Resistencia de diseño de juntas soldadas	83

1. INTRODUCCIÓN

Las constantes precipitaciones en la temporada de invierno en el país han generado un aumento desmesurado del nivel de caños, quebradas, ríos, lagos, lagunas y mares; ocasionando que las personas cuyas viviendas se encuentran construidas en las zonas bajas y cercanas a dichos afluentes se vean afectadas frente a los casos de inundación. Sin embargo, las precipitaciones no son lo único que provoca dichos eventos, también se debe a la intervención del hombre, que a lo largo de los años ha desviado el curso de ríos para actividades agrícolas y deforestado gran cantidad de bosques, disminuyendo la absorción de agua.

Las precipitaciones producidas en dicha temporada afectan a la región de la Orinoquía, especialmente al departamento del Meta [1], donde se observa un incremento en el cauce de los ríos Guacavía, Guamal, Guatiquía, Guavio, Guayuriba, Humadea, Humea, Metica y Negro, los cuales de acuerdo con los registros del IDEAM presentan crecientes con valores elevados, superando las cotas de afectación en algunos municipios, como Puerto López [2].

Este municipio no posee métodos de prevención adecuados para el crecimiento del cauce de sus afluentes, no se ha realizado la reforestación en las orillas de ríos, limpieza en el sistema de alcantarillado, la construcción o mejoramiento de muros de contención, espolones, trampas de sedimentos, diques, jarillones o terraplenes; causando que un gran número de viviendas se vean perjudicadas por las crecientes, principalmente aquellas que se encuentran ubicadas en el barrio Santander, donde se han originado problemas en la salud de los habitantes, desplazamiento de especies que pueden llegar a alterar el balance de los ecosistemas existentes, deterioro en la infraestructura y en acabados.

Con el fin de mitigar los efectos adversos de las inundaciones, en este proyecto se analizará y modelará el comportamiento de una vivienda flotante, teniendo en cuenta las diferentes normas vigentes, caracterización de la zona de estudio, principios de flotabilidad y estabilidad, se propondrá un sistema de servicios básicos a través del uso de energía sostenible, para garantizar y mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector, y adicionalmente se realizará el presupuesto como una guía para la futura construcción de este modelo.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. PREGUNTA PROBLEMA

¿Cuál es el comportamiento de un modelo de vivienda flotante en estructura metálica ante los eventos de inundación generados por el río Metica sobre el barrio Santander en Puerto López Meta?

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en Colombia, un gran número de personas se ven perjudicadas por las inundaciones, dado que sus viviendas se encuentran ubicadas en las cercanías de los afluentes que atraviesan o rodean a determinados municipios. En Puerto López se han incrementado considerablemente los cauces del río Metica y caño Banderas, los cuales han generado inundaciones constantes durante el periodo de invierno en los barrios Abel Rey, Candilejas, Guadalupe, Policarpa, Salinas y Santander.

Los eventos de inundación exponen al barrio Santander a un incremento gradual de mosquitos, lo que puede provocar posibles afectaciones en la salud de los habitantes del sector; además, el estancamiento de agua en las viviendas ocasiona daños significativos en la infraestructura, como lo son la falla de cimentaciones, deterioro y colapso de muros, y alteración de la composición del suelo donde reposan las viviendas. Debido a esto, algunos habitantes del barrio se ven obligados a desalojar sus viviendas y abandonar sus pertenencias cuando se presenta el aumento del cauce del río Metica, perdiendo la mayoría de sus bienes.

Con el fin de evitar daños en la infraestructura, pérdidas materiales y mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector se realizan investigaciones para la implementación de viviendas flotantes en el barrio Santander.

2.3. HIPÓTESIS

El modelo de la vivienda flotante mostrará estabilidad teniendo en cuenta las cargas generadas por las dos estructuras involucradas (habitacle y flotante), de manera que no se genere ningún tipo de inclinación (balanceo y/o cabeceo) o desplazamiento que afecte su funcionamiento.

3. JUSTIFICACIÓN

El IGAC ha clasificado la susceptibilidad a inundación del municipio de Puerto López en un grado alto, debido a que se encuentra rodeado por el río Metica, río Negro, caño Banderas y caño La Venturosa [3]. No obstante, la mayoría de los habitantes han optado por invadir las zonas aledañas a estos afluentes, ubicando sus viviendas en zonas de riesgo e irrespetando las rondas hídricas de los cuerpos de agua, a causa de la inadecuada organización territorial. Por lo cual, cuando se presentan los eventos de inundación los habitantes de dichas zonas pierden gran parte de sus bienes y en algunos casos su vivienda, además, se ven expuestos a enfermedades, lesiones e incluso la muerte.

Las entidades municipales han predispuesto algunos albergues temporales para los afectados por las inundaciones, con el fin de disminuir los problemas a los que se encuentran expuestos los habitantes. Sin embargo, muchas personas prefieren quedarse en sus viviendas porque los albergues que les proporcionan no son lo suficientemente amplios o no les brindan las ayudas necesarias para su sostenimiento, generando descontento y problemas sociales en los principales barrios afectados, como lo es el barrio Santander.

Por consiguiente, a través de la línea de investigación - Modelación de Problemas Complejos y Minería de Datos en Ingeniería Civil, se busca mitigar los riesgos a los que se puede ver expuesta la comunidad del barrio Santander por el crecimiento del cauce del río Metica por medio de una vivienda flotante, implementando diferentes diseños y tecnologías constructivas que disminuyan los impactos ambientales, aseguren la disponibilidad de los servicios básicos durante las inundaciones, garanticen la seguridad y mejoren la calidad de vida de la población.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar un modelo de vivienda flotante en estructura metálica en las zonas de inundación del barrio Santander en el municipio de Puerto López – Meta, como alternativa de prevención de riesgos causados por el incremento del cauce del río Metica.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Modelar la vivienda flotante a partir de los requerimientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y la Resolución 1918 de 2015.
- ❖ Plantear un sistema de anclaje que restrinja el desplazamiento horizontal y permita la flotabilidad de la vivienda ante los eventos de inundación.
- ❖ Analizar la flotabilidad y estabilidad de la estructura flotante, teniendo en cuenta las cargas a las que se encuentra sometida.
- ❖ Proponer un sistema de servicios básicos en la vivienda flotante, por medio de la implementación de energía solar para el sistema eléctrico, tuberías flexibles para las instalaciones hidráulicas y un sistema séptico integrado para las instalaciones sanitarias.
- ❖ Elaborar el presupuesto como guía para la construcción del modelo de vivienda flotante seleccionado.

5. ALCANCE

El desarrollo de este proyecto consta del análisis y modelación del comportamiento de una vivienda flotante en zonas de inundación en el barrio Santander del municipio de Puerto López en el departamento del Meta, donde se establecerá la caracterización del sector anteriormente mencionado, para verificar la susceptibilidad a inundación y riesgos causados por estos eventos, a los que se encuentra expuesta la comunidad del sector.

Para este modelo, la estructura flotante se realizará en forma de barcaza empleando acero como el material de construcción, en donde se especificará a detalle cada una de sus propiedades, dimensiones y cantidades necesarias de acuerdo con el Decreto 2049 de 1956 para la elaboración de la base; por otra parte, el diseño de los elementos estructurales de la parte habitable se ejecutará de acuerdo a los requerimientos de la NSR-10.

Además, se llevará a cabo un análisis de flotabilidad y estabilidad, por medio de los cálculos de las áreas de flotación, capacidad transportadora, volúmenes de seguridad y estabilidad estática transversal y longitudinal; con el fin de establecer el comportamiento de la vivienda flotante durante un evento de inundación.

Adicionalmente, se plantearán una serie de recomendaciones y propuestas para implementar dos sistemas, el primero es un mecanismo de anclaje para evitar los movimientos horizontales y facilitar el movimiento vertical de la vivienda; el segundo para garantizar el suministro de los servicios básicos, mediante la aplicación de energía sostenible. Finalmente, se realizarán los planos estructurales y el presupuesto como guía para la construcción del modelo de la vivienda flotante.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1. Vivienda flotante

Una vivienda flotante es aquella que se puede posar sobre el agua y en algunas ocasiones se puede transportar o ser remolcada; compuesta principalmente por dos estructuras: [4]



Figura 6.1 Composición de una vivienda flotante

Fuente: Econautico Hipocampo, 2015

- **Estructura habitable:** (Ver Figura 6.1) es la que se construye y apoya sobre la estructura flotante, tiene la misma función que una vivienda convencional, debe proporcionar albergue, seguridad y comodidad a sus ocupantes; cabe destacar que el material que se desee emplear en su construcción debe tener la protección necesaria para que no se vea afectado por la humedad.
- **Estructura flotante:** (Ver Figura 6.1) es la parte encargada de la flotabilidad de toda la vivienda por lo que, se debe cumplir con cada uno de los requerimientos de estabilidad y flotabilidad de una embarcación. Por lo general en esta estructura se instala la planta de energía y de tratamiento de agua, en caso de que se requiera, o se puede emplear como sótano de la vivienda.

6.1.1.1. Tipos de vivienda flotante

Las viviendas flotantes se pueden clasificar en dos grupos de acuerdo al diseño de sus estructuras (estructura flotante y estructura habitable):

- **Casa bote:** fue el primer prototipo de las viviendas flotantes y es la que más se parece a una embarcación, con la única diferencia de que se ha modificado la cubierta para la construcción de un espacio habitable, este espacio tiene un área inferior a la estructura habitable de una vivienda flotante, ya que se deben conservar cada una de las especificaciones de estabilidad y flotabilidad con las que fue diseñado el casco de la embarcación, el cual puede ser de madera o acero. [4]
- **Casa flotante:** es una unidad habitable que se construye sobre una estructura flotante y se clasifica de acuerdo a la forma en que se construye su estructura flotante [4], las cuales pueden ser:



Figura 6.2 Tipos de estructuras flotantes

Fuente: Wilson, 2016

- ✓ **Estructura flotante en forma de barcaza:** (Ver Figura 6.2 a) se realiza en base a la forma de una embarcación con el fin de asegurar y garantizar la estabilidad y flotabilidad de toda la estructura.
- ✓ **Plataforma de hormigón:** (Ver Figura 6.2 b) se realiza en hormigón armado, el cual se divide en secciones con el fin de asegurar la flotabilidad de la estructura y servir como muros estancos que reduzcan la velocidad del agua en caso de ruptura. En los espacios de cada una de las secciones se puede instalar poliestireno expandido o se puede realizar una mezcla de cemento y poliestireno expandido.
- ✓ **Plataforma de fibra de vidrio:** es similar al casco de una embarcación y proporciona la misma estabilidad que una plataforma de hormigón; lo que diferencia esta plataforma de los otros dos métodos constructivos es que es mucho más liviana.
- ✓ **Tubos de acero:** (Ver Figura 6.2 c) para que proporcione una estabilidad similar o superior a las otras estructuras flotantes se debe ampliar el diámetro de los tubos de acero.

Cabe aclarar que la estructura flotante se va a diseñar en forma de barcaza, por lo cual se deben tener en cuenta los requerimientos y especificaciones del decreto 2049 de 1956, los cuales de acuerdo con el artículo 6-1-2 solo se pueden aplicar si se cumplen las siguientes condiciones, de lo contrario se deberá realizar un diseño especializado. [5]

- ✓ Eslora < 30 veces el puntal
- ✓ Manga < 6 veces el puntal
- ✓ Eslora < 5 veces la manga

Asimismo, en el capítulo 7 de la norma anteriormente mencionada se definen las propiedades de los materiales constructivos para la estructura flotante, los cuales se encuentran limitados por la eslora, manga y puntal de la embarcación.

6.1.2. Cargas estructurales

Una vivienda flotante al igual que una vivienda convencional se encuentra expuesta a una serie de cargas muertas y vivas, sin embargo, también está sometida a otro

tipo de cargas o fuerzas, como lo son las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas. Estas cargas se especifican a continuación:

- **Combinación de cargas mayoradas:** la NSR 10 plantea una serie de combinaciones de cargas en el capítulo B.2.4.2., entre las cuales cabe destacar la siguiente:

$$1,2 D + 1,6 L \quad (1)$$

Donde,

D = carga muerta

L = carga viva

- **Cargas hidrostáticas:** son las cargas que se generan en la estructura flotante al estar en contacto directo con el agua; se generan principalmente en el volumen sumergido de la estructura flotante, las cuales son producidas por la presión hidrostática [6].

Donde,

P = presión hidrostática

ρ = densidad del fluido

h = profundidad

g = gravedad

$$P = \rho \times h \times g \quad (2)$$

6.1.3. Sistema de parales

Es un sistema de fijación que evita el desplazamiento de la vivienda flotante cuando entra en contacto con el agua y a su vez permite que se eleve a medida que aumenta el nivel del agua. El sistema de parales se conecta a la vivienda flotante a través de una estructura metálica en forma de anillo, la cual se encuentra adherida con pernos en esquinas opuestas de la plataforma flotante (Ver Figura 6.3). Estos anillos deben ser desarmables, en caso de que el habitante desee desplazar su vivienda por medio de motores. [7]



Figura 6.3 Sistema de fijación
Fuente: Molina, 2010

Los materiales de construcción de los parales pueden ser: [7]

- **Madera:** debe ser capaz de soportar el agua y la humedad por largos periodos de tiempo, lo cual se puede lograr mediante la aplicación de impermeabilizantes.
- **Tubos de PVC:** para que soporte las cargas a las que se puede ver expuesta, se debe rellenar con concreto reforzado.
- **Acero:** se debe aplicar un impermeabilizante para disminuir o evitar la aparición de patologías a temprana edad como la corrosión.

6.1.4. Análisis de flotabilidad y estabilidad

La vivienda flotante al estar en contacto con el agua durante los eventos de inundación, debe contar con un análisis de flotabilidad y estabilidad, para evitar posibles volcamientos o hundimientos, en dichos periodos.

6.1.4.1. Empuje y flotación

La capacidad de flotación de un objeto o estructura depende de su peso y la fuerza de empuje que se produce al estar en contacto con un fluido, como se muestra en la siguiente figura:

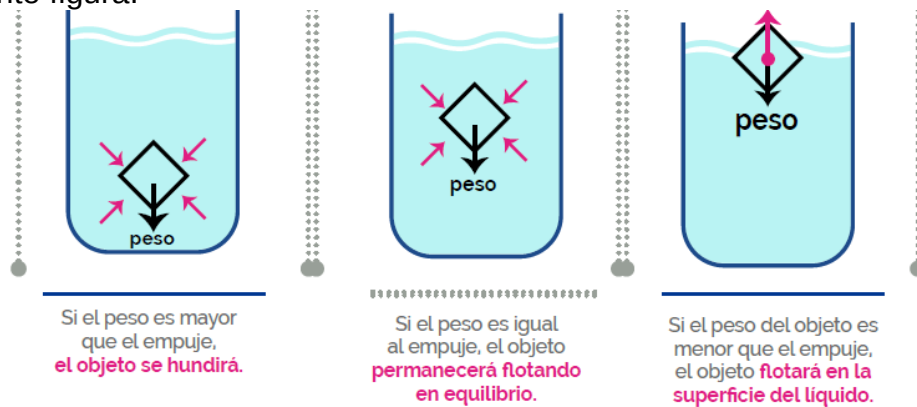


Figura 6.4 Empuje y flotación

Fuente: Ramírez, 2017

El peso de la vivienda flotante debe ser menor a la fuerza de empuje que se genera, para garantizar su flotabilidad durante los eventos de inundación (Ver Figura 6.4).

6.1.4.2. Estabilidad

La estabilidad de una estructura flotante se encuentra determinada por las siguientes ecuaciones: [8]

$$\overline{GM} = \overline{BM} - \overline{BG} \quad (3)$$

$$\overline{BM} = \frac{I_T}{Volumen_{desplazado}} \quad (4)$$

Donde,

G = centro de gravedad

M = metacentro

B = centro de empuje

I_T = momento de inercia de la superficie de flotación

Con lo anterior se puede determinar si la estructura es estable o no, para lo cual se tiene que:

- ✓ Si $\overline{GM}$ es negativo, la estructura flotante puede presentar volcamiento (equilibrio inestable)
- ✓ Si $\overline{GM}$ es cero, la estructura flotante no podrá recuperar su posición inicial después de presentar cierto grado de inclinación (equilibrio neutro)
- ✓ Si $\overline{GM}$ es positivo, la estructura flotante es estable

6.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Barcaza:** es una construcción naval de fondo plano utilizada para el transporte de mercancías o personas, la cual no posee una propulsión propia, por lo tanto, requiere de otras embarcaciones que reciben el nombre de empujadores. [9]
- **Calado máximo:** se encuentra delimitado por el fondo de una embarcación y la línea máxima de flotación. [5]
- **Calado vacío:** es el espacio comprendido entre el fondo de una embarcación y la línea mínima de flotación. [5]
- **Capacidad transportadora:** es la capacidad de una unidad flotante para llevar carga a bordo [5]
- **Cargas hidrodinámicas:** son las cargas que se generan en la estructura flotante por el movimiento del agua. [10]
- **Cargas hidrostáticas:** son las cargas que se generan en la estructura flotante por la presión hidrostática en las paredes del casco que se encuentran en contacto con el agua. [6]
- **Centro de carena:** es el punto donde se aplica o concentra la fuerza de empuje en cualquier embarcación, dicho punto se encuentra a una determinada altura del fondo de la unidad. [11]
- **Eslora:** es la distancia medida a lo largo de una determinada embarcación, delimitada por su proa (parte delantera) y popa (parte trasera). [5]
- **Estabilidad:** es la capacidad que posee un cuerpo para permanecer o regresar a un estado de equilibrio después de sufrir un movimiento.
- **Estabilidad dinámica:** es el trabajo o energía que debe efectuar una estructura flotante para regresar de cierto grado de inclinación a su punto de equilibrio. [12]
- **Estabilidad estática:** es el conjunto de fuerza a las que se ve sometida una estructura flotante a determinada inclinación. [9]
- **Francobordo:** es la distancia entre la línea máxima de flotación y la cubierta de una embarcación. [5]

- **Flotabilidad:** es la capacidad que posee un cuerpo para posarse sobre una superficie de agua, esto ocurre por la fuerza de repulsión que genera el agua sobre dicho cuerpo. [13]
- **Línea máxima de flotación:** delimita el área de flotación que posee una embarcación cuando se encuentra a plena carga. [5]
- **Línea mínima de flotación:** delimita el área de flotación de una embarcación cuando no transporta ningún de carga. [5]
- **Manga:** es la distancia comprendida entre los costados de una embarcación. [5]
- **Metacentro:** es el punto donde se intercepta el plano diametral de la estructura flotante y la vertical trazada desde el centro del volumen delimitado por el casco y la zona de flotación de la estructura flotante. [9]
- **Puntal:** es la distancia vertical entre la parte superior e inferior en el costado de una embarcación. [5]
- **Sistema de parales:** es un sistema de anclaje o de soporte que permite los movimientos verticales de una estructura flotante a medida que aumente el nivel del agua impidiendo que se desplace horizontalmente. [7]

6.3. ESTADO DEL ARTE

El diseño de viviendas flotantes ha sido abarcado últimamente con gran frecuencia en el país, en las investigaciones y estudios que se han llevado a cabo no solo se enfocan en el diseño estructural, sino que también se plantea y propone la implementación de diferentes materiales y energía sostenible.

- Molina y Walker (2010), efectuaron el diseño y desarrollo de una plataforma flotante adecuada para la construcción de una vivienda rural unifamiliar para población de bajos recursos para sobrellevar las inundaciones aluviales futuras en las zonas críticas de la depresión Momposina del bajo Magdalena, en donde se especifican las llanuras, región de la depresión y los problemas de inundación de la cuenca del río Grande de la Magdalena; y se plantean 5 alternativas de diseño de la plataforma flotante (Estructura y flotación en ferrocemento, estructura en ferrocemento y flotación en botellas PET, estructura en madera con flotación en canecas, estructura metálica con flotación en botellas PET y estructura hexagonal en madera flotando en Poliestireno expandido) cada una con su sistema de soporte, detallando los diferentes materiales de construcción y sus diferentes estructuras; por medio de la evaluación ponderada de alternativas donde los criterios establecidos fueron economía, adquisición de materiales, facilidad de elaboración, capacidad de flotación y durabilidad de cada una, obtenido como la más óptima la alternativa 4 (estructura metálica con flotación en botellas PET). [7]

Para garantizar la flotación de la plataforma se dividió el sistema en 16 contenedores diferentes formados con malla de polipropileno entretejidas entre sí, donde se ubicaron botellas PET de gaseosa de 2,5 litros, estos contenedores

podían almacenar 400 botellas, es decir 6400 botellas PET en toda la estructura flotante, las cuales desalojaban 16 m^3 , equivalente a 16 toneladas de empuje, su máxima capacidad de flotación. Sin embargo, no se evidenció a detalle ningún cálculo matemático que garantizara los datos obtenidos, pero, se pudo observar que para el sistema de anclaje y de fijación de la vivienda flotante se especificó de manera precisa; por lo tanto, se empleó este trabajo como guía en los dos aspectos mencionados. [7]

- Castilla (2012) propuso una ciudad anfibia y sostenible para los periodos de aguas altas y bajas, con el fin de solucionar los problemas de disponibilidad de suelo y recuperar la estructura ecológica del municipio de San Marcos, Sucre [14]. Este autor planteó un modelo arquitectónico de una ciudad anfibia ubicada en los alrededores de la ciénaga de San Marcos, este modelo presenta propuestas para el transporte y las ubicaciones de viviendas sobre muelles flotantes, pero no se evidenció propuestas para el sistema de servicios básicos.
- Castillo (2012) realizó el diseño de un modelo de vivienda anfibia para poblaciones vulnerables en zonas con riesgo de inundación, mediante un análisis ambiental, social y económico. En esta investigación el autor planteó una plataforma flotante que soporte como mínimo cuatro viviendas; el diseño de dicha plataforma se llevó a cabo a través de la aplicación de tecnologías navales y en la estructura de soporte para la plataforma se planteó una alternativa para el uso de energía sostenible, mediante el uso de aspas en la parte superior de los pilotes, convirtiéndolos en generadores de energía eólica [15]. Sin embargo, este autor no ejecutó ningún cálculo, ya que la investigación está enfocada en el ámbito arquitectónico, y no se plantearon las propuestas para las instalaciones hidrosanitarias.
- Ibaceta (2012), propuso una plataforma flotante para el estero Mantagua, donde se definieron las diferentes estructuras flotantes de mayor magnitud como las casas flotantes y las de menor magnitud como las plataformas modulares de poliuretano y metálicas con flotadores. Este autor empleó una plataforma metálica con flotadores plásticos y ajustó las dimensiones de acuerdo a la zona de estudio, donde estableció los siguientes criterios para el cálculo de flotabilidad: peso propio (el peso de los flotadores es de 470 Kg y la estructura de la plataforma es de 210 Kg), la estructura de la membrana (Perfil tubular rectangular de 40X40X2 mm con 6 m de largo), la habitabilidad (3 personas por m^2 , para un total de 45 personas) y carga de ocupación (70 Kg por persona, es decir soporta máximo 3150 Kg). Sin embargo, en este documento no se detalló ningún proceso metodológico, por lo cual solo se tuvo en cuenta la definición y clasificación de las casas flotantes. [16]
- Palacios (2012) efectuó un estudio de prefactibilidad para la construcción de casas flotantes sostenibles en la ciudad de Quibdó, Choco. En este estudio el autor llevó a cabo un análisis técnico, ambiental, sociocultural y económico para determinar la viabilidad de la implementación de este tipo de viviendas en el caso

de estudio. Por otra parte, para la construcción de las viviendas flotantes se realizó el diseño estructural, un análisis de estabilidad y flotabilidad, donde se ejecutaron los cálculos de estabilidad, cálculos de cargas, fuerza de empuje y de boyamiento, y se plantearon alternativas para el tratamiento de aguas residuales y para los servicios básicos mediante energías naturales renovables. Cabe destacar que el diseño de esta vivienda se realizó en madera, dado que es un material de construcción característico en la zona de estudio, donde de acuerdo con los cálculos realizados se verificó que la vivienda cumplía con las características técnicas, es decir flotaba satisfactoriamente. [17]

- Barrientos (2014), realizó una optimización estructural de pontones flotantes de hormigón armado ocupados en la industria acuícola, analizando 4 modelos de pontones (rectangular, circular, hexagonal con 3,746 m de alto y 2,446 m de alto) sin tener en cuenta la cubierta de la embarcación, es decir, solo realizaron los análisis estructurales al casco de la embarcación; en el cual se incluyó el estudio hidrostático y de estabilidad para cada uno de los modelos; dichos estudios se tuvieron en cuenta para llevar a cabo los cálculos pertinentes para este proyecto como resultado se obtuvo que los dos primeros modelos (pontón rectangular y circular) son los que poseen mayor ventaja, tanto económicamente como estructuralmente, ya que distribuyen las cargas de manera modular y poseen mayor estabilidad, con respecto a los otros dos modelos en la condición de lanzamiento. [8]
- Bocanegra (2014) ejecutó el diseño arquitectónico de una vivienda para las zonas de inundación del municipio de San Marcos, Sucre; la cual denominó Biobama. Para el diseño de esta vivienda el autor empleó materiales de construcción que son utilizados con frecuencia en el sector, como lo son la madera, paja y concreto; para la plataforma flotante implementó un sistema de flotación con tanques plásticos, teniendo en cuenta los conceptos de flotabilidad y estabilidad. Sin embargo, el autor no propuso una serie de alternativas para el suministro y disponibilidad de los servicios básicos de la vivienda. [18]
- Carrillo y Rojas (2014) llevaron a cabo un manual para la construcción de viviendas en las zonas de inundación del municipio de Sucre, con el fin de facilitar el proceso constructivo de las viviendas flotantes en la zona de estudio. La vivienda tipo que propusieron posee un mecanismo de soporte alterno que permite a la estructura tener un movimiento vertical a la vez que restringe el movimiento horizontal, este mecanismo se encuentra compuesto por cuatro pilares en concreto ubicados en los extremos de la vivienda unidos por medio de un anillo metálico que tiene la capacidad de separar la estructura con el pilar de concreto; delimitado por las actividades preliminares, cimentación, sistema de pilares, sistema de flotación, elementos de conexiones para el mecanismo de soporte alterno; además las dos estructuras de la vivienda flotante fueron diseñadas en madera y para garantizar la flotabilidad en el manual creado por los autores se propone emplear canecas plásticas, botellas plásticas y demás materiales que faciliten la flotabilidad de la vivienda. [19]

- Castro (2014) planteó el diseño arquitectónico de un modelo de vivienda para poblaciones en zonas de riesgo de inundación en Honda, Tolima. Para ejecutar el diseño de este modelo el autor tuvo en cuenta las cuatro necesidades básicas propuestas por Le Corbusier (habitar, trabajar, recrearse y circular) [20], por lo cual en este modelo no solo se especifica el diseño de las viviendas, sino que también se especifican áreas recreativas y productivas, pasarelas que comunican a cada vivienda. Además, este autor plantea las alternativas para la recolección y disposición de basuras y la disponibilidad de los servicios básicos antes, durante y después de los eventos de inundación.

Hay gran variedad de información sobre las viviendas flotantes y no solo se limita al diseño estructural y memorias de cálculo (estructura flotante y estructura habitable), también se encuentran alternativas que garanticen la aplicación de energía sostenible. Sin embargo, la información sobre el suministro y disponibilidad de los servicios básicos antes, durante y después de los eventos de inundación es muy escasa en las investigaciones y estudios que se han llevado a cabo en Colombia.

6.4. MARCO NORMATIVO

❖ Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes - NSR-10

✓ Título B: Cargas

Expresa los requerimientos mínimos (seguridad, funcionamiento, fuerzas causadas por deformaciones impuestas y análisis) que debe cumplir una estructura en lo que concierne a cargas diferentes a las fuerzas que un sismo impone a una estructura, teniendo en cuenta que el diseño de los elementos de la estructura, se debe realizar en condiciones de que la carga sea crítica y posteriormente efectuar una verificación de combinaciones de carga, que evidencie un adecuado diseño.

✓ Título F: Estructuras metálicas

Establece las especificaciones y requisitos para el diseño de estructuras constituidas por elementos de acero estructural, aplicándose a elementos que utilicen perfiles laminados, armados o tubulares (PTE), así como en secciones en donde actúen el acero y el concreto conjuntamente.

❖ Resolución 1918 de 2015

Define las condiciones que se deben tener en cuenta para la matrícula y renovación de la patente de navegación de las embarcaciones fluviales tipo bote tanque, autopropulsadas y artefactos fluviales (construcción flotante que no posee ningún tipo de propulsión, pero opera en los distintos medios fluviales) que transporten petroquímicos, hidrocarburos, asfaltos, entre otros. En esta resolución se considera que el Decreto 2049 de 1956 es el que establece todas las regulaciones para las unidades fluviales que naveguen en territorio nacional. [21]

❖ **Reglamentación para la construcción, reparación, inspección y clasificación de embarcaciones fluviales - Decreto 2049 de 1956**

Establece los requerimientos y especificaciones relacionados a la caracterización y clasificación de una embarcación fluvial; además incluye las propiedades físico – mecánicas de diferentes materiales constructivos y define los periodos en los que se debe llevar a cabo la inspección y reparación de una determinada embarcación.

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

El municipio de Puerto López está ubicado en el centro norte del departamento del Meta (Ver Figura 6.5), distinguido por ser el centro geográfico de Colombia y uno de los puertos fluviales más importantes sobre el río Meta. El sector cuenta con una cabecera municipal compuesta por 25 barrios y una zona rural conformada por 36 veredas y 11 centros poblados; este tiene 33.440 habitantes, de acuerdo a las estimaciones y proyecciones de población realizadas por el DANE, y un área aproximada de 6.740 km².

Este municipio se encuentra a 83 km de Villavicencio y a 206 km de Bogotá D.C., presenta los siguientes límites geográficos: al norte con Cumaral, Cabuyaro y el departamento del Casanare, al sur con San Martín, por el este con Puerto Gaitán y por el oeste con los municipios de San Carlos de Guaroa y Villavicencio. Tiene un gradiente altitudinal de 178 m.s.n.m. y una ubicación geográfica de latitud: 4°05'23"N y longitud: 72°57'43"O, además manifiesta una temperatura promedio de 26°C.



Figura 6.5 Ubicación Geográfica.

Fuente: Autor

Los períodos de mayor precipitación en Puerto López se generan entre abril y agosto, mientras que el tiempo de sequía se desarrolla a partir de los meses de diciembre a marzo. Cuenta con una amplia hidrografía en la se destacan el río Metica, río Negro, el caño Banderas y caño La Venturosa. A lo largo del cauce del río Metica y el caño Banderas, se ha evidenciado procesos de socavación, esto se debe al carácter meándrico de su cauce y a materiales que detienen su trayecto.

Puerto López tiene como actividad económica la ganadería, pesca, agricultura (cultivos de arroz, algodón, yuca, palma africana, plátano y maíz), el transporte, el comercio, y la actividad que ha tomado fuerza en los últimos años ha sido la agroindustria.



Figura 6.6 Ubicación Barrio Santander
Fuente: Autor

El barrio Santander se encuentra ubicado al Sur-Este de la cabecera municipal (Ver Figura 6.6), con un área aproximada de 0,125 km²; es uno de los cinco barrios afectados por los eventos de inundación, que se originan por las crecientes del caño Banderas y el río Metica.

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

El director del proyecto, Ingeniero Emiro Andrés Lozano Pérez, Ingeniero Civil egresado de la Universidad de Sucre; especialista en Estructuras, actualmente está realizando una maestría en Infraestructura Vial. Participa en el semillero de investigación en Estructuras – CROSS y en la línea de investigación denominada Modelación de problemas complejos y minería de datos en Ingeniería Civil.

Las investigadoras del proyecto, María Andrea Beltrán Acevedo y María Luisa Beltrán Acevedo, estudiantes de decimo semestre de Ingeniería Civil, han participado en proyectos de aula relacionados con: el estudio y diseño sismoresistente de una edificación para vivienda de 6 pisos con sistema de pórticos en concreto reforzado, el diseño de un sistema de acueducto y alcantarillado, así como el diseño de una planta de tratamiento de agua potable. También han realizado proyectos integradores como: el diseño de un tanque elevado de almacenamiento de agua y el de un puente vehicular.

8. METODOLOGÍA

8.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizaron consultas pertinentes para la elaboración del proyecto, investigando en tesis de grado, manuales, informes, artículos, libros y memorias explicativas de los estudios realizados sobre viviendas flotantes en el ámbito nacional e internacional; con el fin de adquirir información necesaria para la planificación del proyecto.

Entre los conceptos y teorías consultadas se encuentran la estabilidad estática transversal y longitudinal para estructuras flotantes, análisis de esfuerzos y cargas estructurales, aplicación de energías renovables en viviendas, diseño de una estructura flotante tipo barcaza, especificaciones técnicas de materiales de construcción para una estructura flotante.

8.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se efectuó la caracterización del área de estudio a partir de la recopilación de información en entidades públicas y privadas, permitiendo así, conocer y verificar la susceptibilidad del sector a eventos de inundación y riesgos a los que se pueden ver expuestos la población.

8.3. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HABITABLE

Al llevar a cabo el diseño y la determinación de esfuerzos y cargas que afecten la funcionabilidad de la estructura flotante, se procedió a realizar el diseño de la estructura habitable, realizando el dimensionamiento de cada uno de los elementos estructurales y no estructurales de la vivienda, teniendo en cuenta los requerimientos expresados en normas y reglamentos pertinentes al caso de estudio.

8.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE

Con los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica, se llevó a cabo el diseño de la base de la vivienda flotante (estructura flotante), teniendo en cuenta que es tipo barcaza y su material de construcción es el acero, se definieron las dimensiones adecuadas para que la estructura no solo soporte las cargas generadas por la estructura habitable, sino que también soporte las cargas generadas por el agua ante los eventos de inundación, garantizando la estabilidad y flotabilidad de toda la estructura.

8.5. SISTEMA DE ANCLAJE

A partir de la revisión bibliográfica se seleccionó un sistema de anclaje con el fin de restringir los movimientos horizontales de la estructura, considerando las cargas estructurales previamente determinadas para establecer las dimensiones de cada uno de los parales.

8.6. ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD

Se analizó la flotabilidad y estabilidad de la estructura mediante el cálculo de las áreas de flotación y los volúmenes de seguridad, donde se tuvieron en cuenta los respectivos desplazamientos generados y el peso propio de la vivienda flotante, al mismo tiempo se efectuará un análisis de la estabilidad estática transversal y longitudinal.

8.7. RECOMENDACIONES Y PROPUESTA PARA EL SISTEMA DE SERVICIOS BÁSICOS

A través de la revisión bibliográfica se buscaron alternativas para la implementación de los servicios básicos de la vivienda flotante, las cuales deben garantizar la funcionabilidad de los servicios básicos antes, durante y después de los eventos de inundación.

8.8. ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO

A partir de los planos arquitectónicos, la información de los tipos de materiales y cantidades de obra, se realizó el presupuesto detallado del modelo de vivienda flotante, con el fin de determinar el costo total del proyecto para una futura construcción.

9. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para continuar con el desarrollo de cada una de las etapas del proyecto, se realizó inicialmente una revisión bibliográfica en diferentes tesis de grado, manuales, informes, artículos y demás, con el fin de recolectar datos sobre las viviendas flotantes, como lo son:

- ✓ Sistema estructural
- ✓ Material de construcción
- ✓ Tipo de construcción para la estructura flotante
- ✓ Sistema de anclaje
- ✓ Análisis de flotabilidad y estabilidad
- ✓ Sistema de servicios básicos
- ✓ Aplicación de energías renovables

Cabe destacar que la recolección de información se dividió en dos partes, la primera se basó en la recolección de términos básicos, donde se llevó a cabo la conceptualización y reconocimiento de las viviendas flotantes, lo cual se obtuvo por medio de los documentos descritos en el estado del arte (Ver numeral 6.3).

En la segunda fase de la revisión bibliográfica se identificaron los documentos guías para el desarrollo metodológico del proyecto, en la que no solo se incluyeron trabajos de grado, también se tuvo en cuenta la NSR – 10 (Reglamento de construcción sismoresistente) y el decreto 2049 de 1956 (Norma para la construcción, inspección, reparación y clasificación de embarcaciones) el modelo de la vivienda flotante.

- Trabajos de grado:
 - ✓ Estudio de prefactibilidad para la construcción de casas flotantes sostenibles, caso de estudio ciudad de Quibdó por Jorge Mario Palacios Mosquera (Ver numeral 6.3)
 - ✓ Manual para la construcción de viviendas en zonas de inundación en el municipio de Sucre en el departamento de Sucre por Andrés Javier Carrillo Pineda y Robinson Arley Rojas Claros (Ver numeral 6.3)
- Normas:
 - ✓ Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (NSR – 10)
 - ✓ Resolución 1918 de 2015, la cual considera que el Decreto 2049 de 1956, establece las normas y reglas que regulan la construcción, inspección, reparación y clasificación de todas las unidades fluviales que naveguen en los ríos, canales, lagos, y lagunas del territorio nacional. [22]

10. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En la presente etapa se describirán las características generales del municipio de Puerto López – Meta, incluyendo temas como ubicación geográfica (Ver numeral 6.5), aspectos clima, hidrografía, geología entre otros; para realizar dicha caracterización se recopiló información en entidades territoriales.

10.1. ASPECTOS CLIMÁTICOS

El clima en Puerto López es semihúmedo, pero según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, elaborado por la alcaldía municipal, este presenta tres tipos de climas:

Tabla 10.1 Clima de Puerto López, Meta

Clima	Precipitaciones (mm)	Temperatura (°C)	Déficit de agua (Mes)	Exceso de agua (Mes)
Muy húmedo	2700 - 2800	24,8 - 26	Enero - Marzo	Abril - Diciembre
Húmedo	2600 - 2800	26 – 26,2	Enero - Febrero	Abril - Octubre
Moderadamente húmedo	2100 - 2300	25 – 25,3	Enero - Marzo	Abril - Noviembre

Fuente: PBOT, 2019

Los meses más lluviosos son junio y julio, con valores promedios de temperatura de 24 °C, mientras que en enero y febrero se presentan los tiempos más secos con temperaturas que superan los 28 °C. [23]

10.2. HIDROGRAFÍA

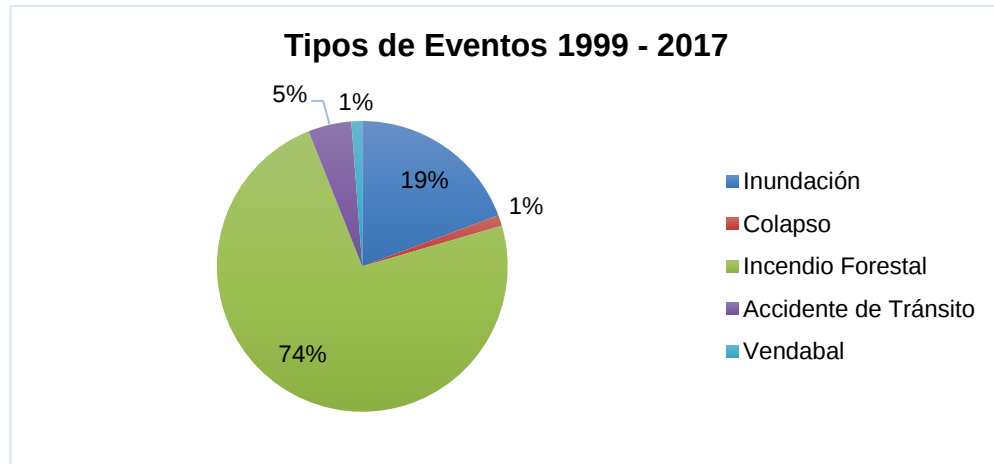
La cuenca más extensa de la Orinoquía es la del río Meta, de la cual hace parte el municipio de Puerto López, en donde se generan importantes desarrollos socioeconómicos de la región, como actividades agropecuarias, agroindustriales y de la industria petrolera.

El río Meta recorre al municipio en 161 Km por el costado derecho y 14 Km por el costado izquierdo. En dicha cuenca se vierten cuatro subcuencas, en donde se encuentra la del río Metica, Manacacias, Yucao y Upía, representando para la población portolopense y la región de la Orinoquía un vínculo especial, ya que por su capacidad de navegabilidad permite desarrollar actividades comerciales como el transporte de alimentos, ganado y mercancías a municipios como Puerto Gaitán, a departamentos como el Vichada y el Casanare y al país de Venezuela; además, permite la realización de actividades como la pesca. [24]

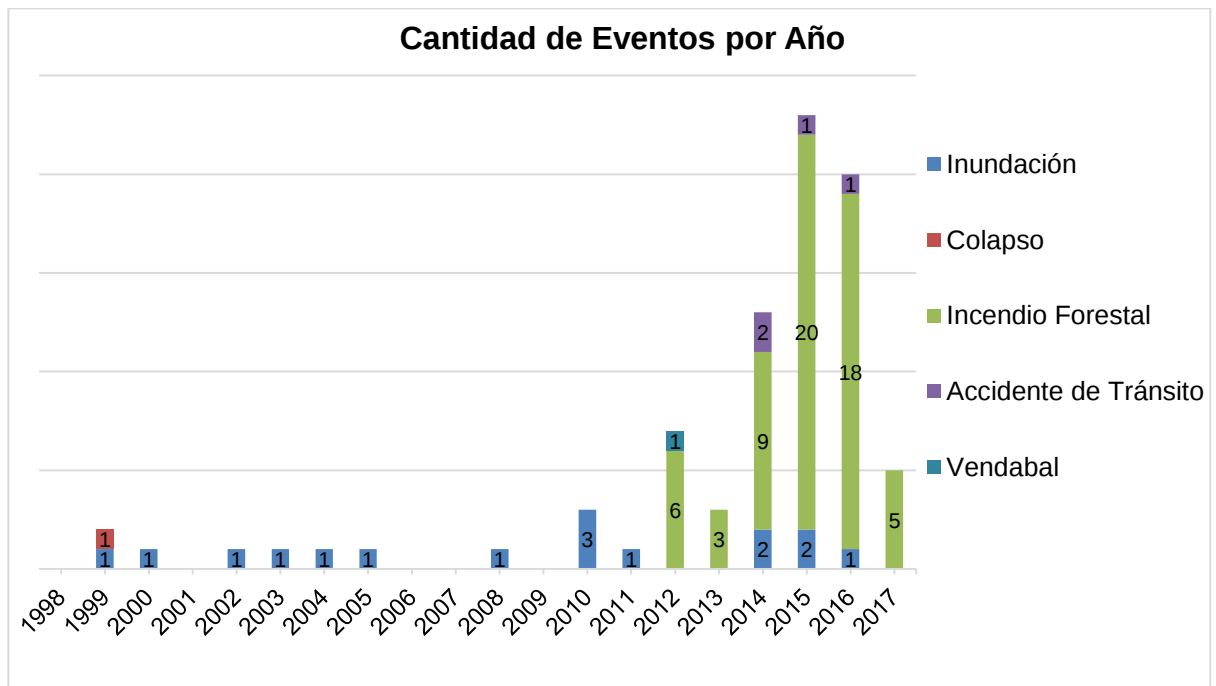
Sin embargo, la red hidrográfica de Puerto López se está contaminando de forma acelerada debido a los vertimientos de aguas residuales de forma directa (sin ningún tipo de tratamiento) a las fuentes hídricas, así como la disposición de residuos sólidos por parte de la comunidad; otro problema que se presenta es la tala de árboles en las riberas de los ríos y caños. La contaminación del recurso hídrico se genera en mayor escala en los caños que pertenecen al casco urbano, como: Los

Muertos, Banderas, La Morichera y La Venturosa, los cuales desembocan en el río Metica. [24]

La UNGRD (Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres) dispone de un registro de eventos históricos sucedidos en Puerto López desde el año 1998 hasta 2017; a continuación, se muestra la compilación de datos suministrados por dicha entidad:



Gráfica 10.1 Compilación de desastres de Puerto López, Meta
Fuente: UNGRD, 2018

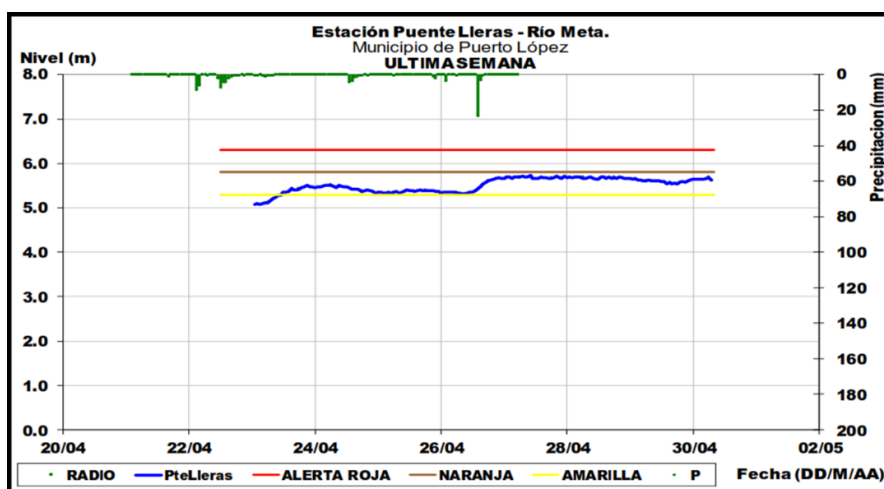


Gráfica 10.2 Cantidad de desastres por año en Puerto López, Meta
Fuente: UNGRD, 2018

En los cuales se observa que el municipio presenta gran vulnerabilidad a incendios forestales y a eventos de inundación (Ver Gráfica 10.1 y Gráfica 10.2), las cuales son debidos a las crecientes del Río Metica y del Caño Banderas. Estos eventos dejan a cientos de familias damnificadas, perdidas millonarias de cultivos, daños ambientales, entre otros impactos. [25]

Las zonas rurales que comúnmente se ven afectadas por las crecientes súbitas de los afluentes hídricos son: Alto Navajas, Bajo Navajas, Bocas del Guayuriba, Cháviva, La Balsa, Menegua, Pachaquiario, Puerto Alicia, Puerto Guadalupe, Puerto Nare, Puerto Porfía y Remolino; mientras que en la zona urbana son siete barrios los damnificados (Abel Rey, Candilejas, Guadalupe Salcedo, Las Salinas, Policarpa, Santander y 9 de Abril). [25]

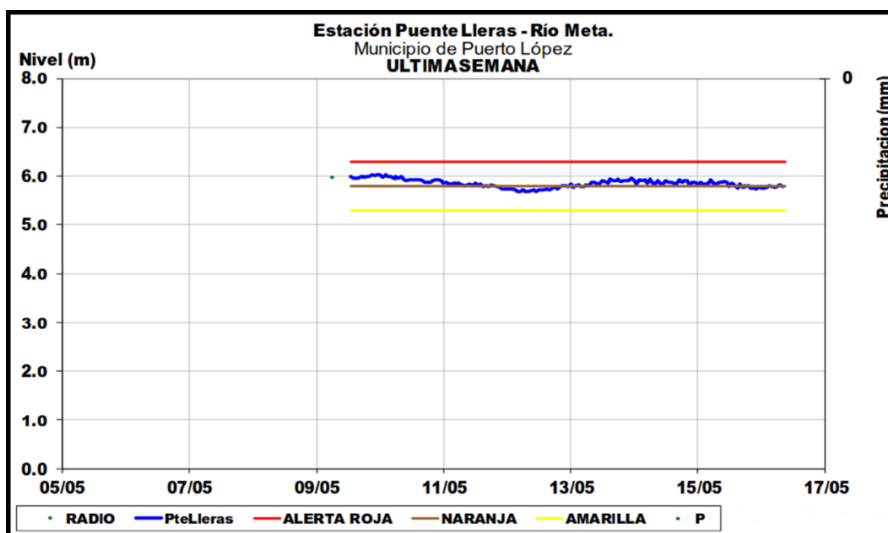
Las crecientes súbitas de los afluentes son registradas por las estaciones del IDEAM, el cual dispone de unos informes hidrológicos donde se muestra el nivel de los ríos de cada una de las cuencas de Colombia; entre los cuales cabe destacar el informe del 31 de marzo de 2018, en el que se decretó alerta naranja para la cuenca del río Meta, por las constantes precipitaciones en el centro y oriente del Meta, ocasionando incrementos súbitos en los ríos aportantes, entre los cuales se encontraba el río Metica, el cual podía presentar aumentos en su cauce en los primeros días de abril. [26]



Gráfica 10.3 Nivel del río Meta en Abril de 2018

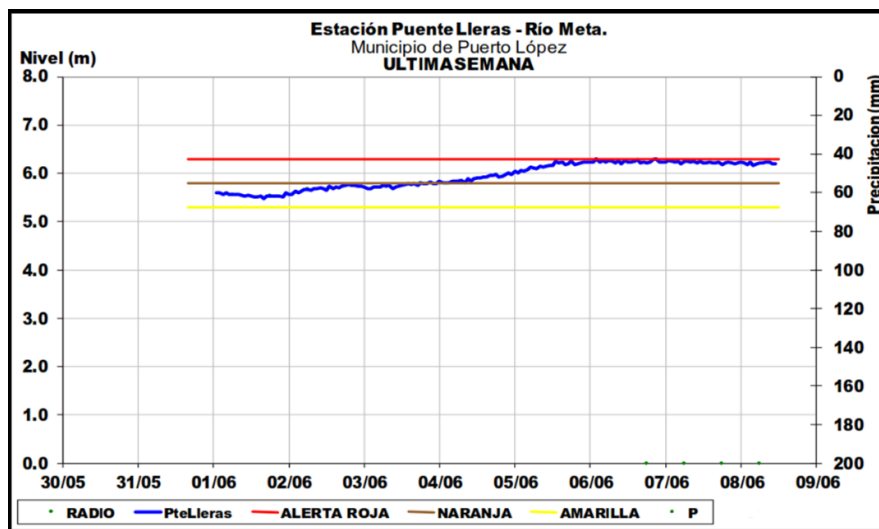
Fuente: IDEAM, 2018

Para el 30 de abril los niveles de los afluentes de la cuenca del río Meta se mantuvieron altos (Ver Gráfica 10.3), sin embargo, se bajó el nivel de alerta, ya que se presentó una ausencia de precipitaciones para la fecha, lo cual mantuvo constantes los niveles de estos ríos.



Gráfica 10.4 Nivel del río Meta en Mayo de 2018
Fuente: IDEAM, 2018

El 16 de mayo de 2018 se declara alerta naranja por el aumento del cauce de los ríos aportantes, en especial por la persistencia de los niveles registrados en la estación Puente Lleras de Puerto López (Ver Gráfica 10.4), por lo que el IDEAM recomendó a las autoridades competentes tomar medidas preventivas frente a los posibles impactos que se pueden generar debido a un incremento en la probabilidad de constantes precipitaciones en la zona. [27]



Gráfica 10.5 Nivel del río Meta en Junio de 2018
Fuente: IDEAM, 2018

El 5 de junio de 2018 se subió el nivel de alerta naranja a roja porque se registraron crecientes súbitas con valores altos en los ríos aportantes de la cuenca del río Meta y en algunos casos se superaron las cotas de afectación, reflejado principalmente en Puerto López (Ver Gráfica 10.5), en el cual la cota crítica del río Meta es de 6,52

Las unidades geomorfológicas en su totalidad son de origen fluvial y lagunar (Ver Tabla 10.2), formadas a partir de procesos de sedimentación y erosión correspondientes a la dinámica fluvial de los ríos, caños y otros cuerpos hídricos [25]. La distribución de la geomorfología en el municipio se describe a continuación:

Tabla 10.2 Geomorfología de Puerto López, Meta

Nombre de la Unidad	Área (Ha)	Porcentaje %
Cauce de Río	19253,1037	2,76
Laguna	237,3131	0,03
Meandro Abandonado	97,2631	0,01
Planicie Aluvial	320612	46,04
Terraza Aluvial	320518	46,03
Terraza Antigua	36652,0150	5,26

Fuente: PBOT, 2019

En la cabecera municipal se presentan unidades de planicie aluvial, que se caracterizan por tener un microrelieve que es plano-cóncavo con pendientes entre 1 y 3%, generando inundaciones frecuentes; en el área rural se observan unidades correspondientes de terraza antigua, terraza aluvial y planicie aluvial. [25]

10.5. VULNERABILIDAD A INUNDACIÓN

Puerto López tiene alta susceptibilidad a inundación debido a su riqueza hídrica, ya que se encuentra dentro de la cuenca del río Meta, la cual nace en la cordillera oriental; incrementando la probabilidad de inundación en el municipio por la intensidad de precipitación en dicha cordillera y en la zona del piedemonte llanero; otro factor que influye son las características del suelo, dado que se presentan planicies aluviales, formadas por depósitos aluviales y eólicos. [25]

Además, tiene un régimen de precipitación monomodal, es decir, que presenta un solo periodo seco desde diciembre hasta marzo, y un periodo húmedo definido en el año, entre los meses de abril a noviembre; ya sean largas o repentinas las precipitaciones se genera un exceso en la capacidad de infiltración y drenaje del suelo, provocando el desbordamiento de ríos y caños, aumentando así la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de inundación [25]. Estos se pueden clasificar según su origen (pluviales o por fallas en el sistema de drenaje), y según su velocidad (desbordamiento de ríos que van cubriendo las planicies y valles aluviales de las zonas cercanas al cauce, causando daños en diferentes infraestructuras y cultivos). [29]

Sin embargo, las inundaciones no solo se producen por aspectos climáticos, sino también por el tipo de geomorfología y la influencia antrópica cerca de las rondas hídricas (principales causantes de los daños a los sistemas fluviales), ya que generan cambios en la dirección del cauce, provocando otros fenómenos (socavación, sedimentación) que si no se controlan podrían ocasionar grandes problemas ambientales y socioeconómicos. [25]

Con base a lo anterior, la administración municipal de Puerto López ha desarrollado un mapa donde se identifican las diferentes zonas de amenazas y riesgos en la cabecera municipal (Ver Figura 10.2), que permiten conocer a detalle la situación actual del sector frente a los diferentes eventos que pueden ocurrir, entre los cuales se encuentran los fenómenos de inundación demarcados en rojo.

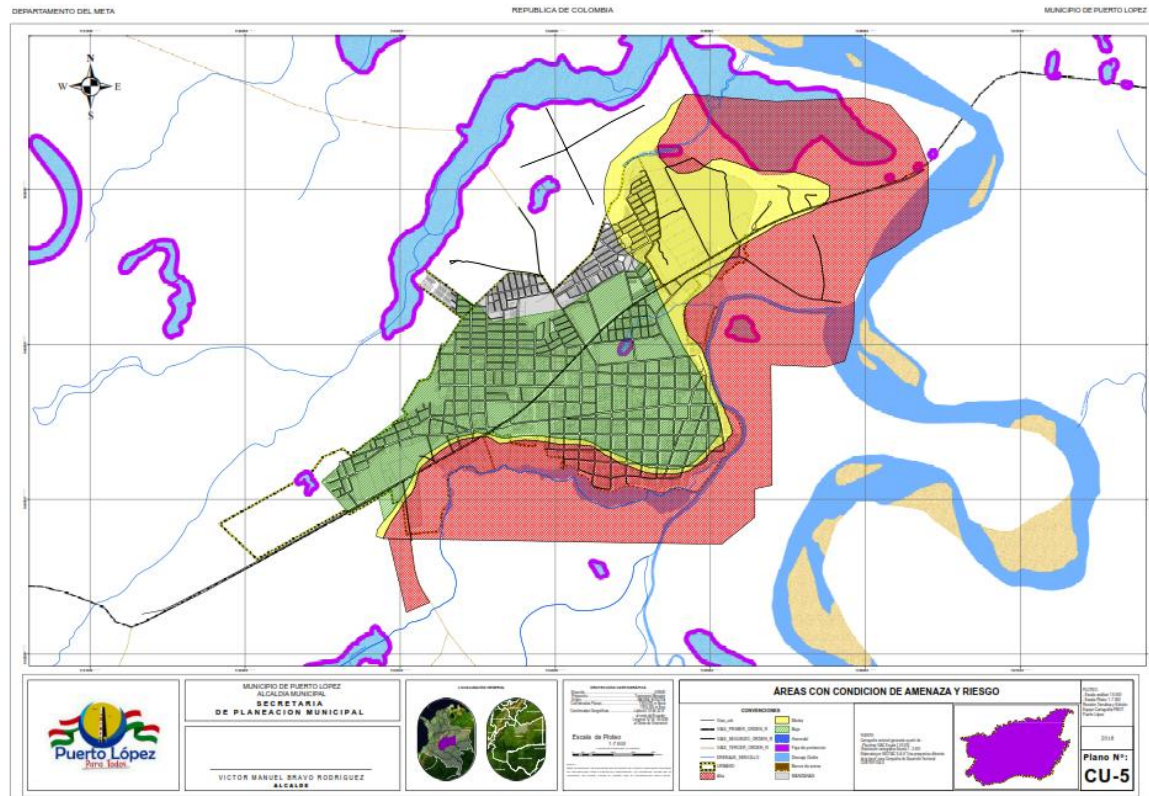


Figura 10.2 Área con condición de amenaza y riesgo
Fuente: PBOT, 2018

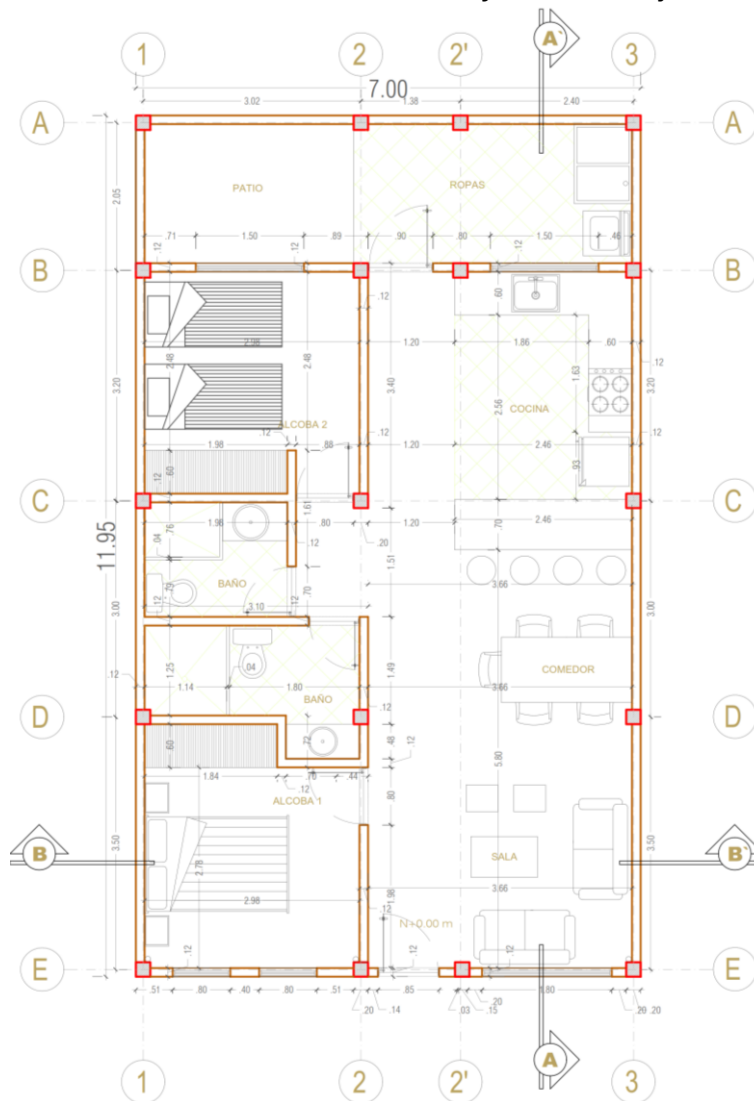
En el mapa de área con condición de amenaza y riesgo, se tiene que la zona de alto riesgo de inundación en la cabecera municipal presenta un área total de 260,9 hectáreas, de las cuales 26,5 son de uso residencial y 287,4 hectáreas pertenece a zonas de fines agropecuarios. [25]

La vulnerabilidad a inundación del municipio es alta por la ausencia y/o deterioro de obras de infraestructura que eviten estos fenómenos y por la cercanía de viviendas al río Metica y al caño Banderas, que al momento de presentarse el desbordamiento incontrolado de estos cauces generan grandes pérdidas económicas y disminuyen la calidad de vida de la población.

11. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HABITABLE

11.1. PLANTEAMIENTO ARQUITECTÓNICO

El proyecto contempla el diseño arquitectónico de una vivienda de un solo nivel o planta, la distribución espacial se ajusta a la de una vivienda convencional compuesta por una sala, cocina, comedor, patio, cuarto de ropas, dos habitaciones y dos baños; pensando en las condiciones básicas y la comodidad de una familia promedio en Colombia (4 personas). En la Figura 11.1 se presenta el modelo de la vivienda, la cual tiene un área total de 83,65 m² y un área bajo cubierta de 69,3 m².



PLANTA ARQUITECTÓNICA PISO ÚNICO

ESC 1:50

Figura 11.1 Planteamiento Arquitectónico de la estructura habitable

Fuente: Noreña, 2019

11.2. ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES

Los materiales con los cuales se realizó el diseño de la estructura habitable del proyecto se encuentran descritos en la Tabla 11.1.

Tabla 11.1 Especificación de los materiales de la estructura habitable	
Descripción del Elemento	Material
Columnas	Tubería Estructural 300 x 300 x 10 mm Grado C
Vigas	Tubería Estructural 300 x 300 x 10 mm Grado C
Placa Metaldeck	Metaldeck 2" Calibre 22
Alfarda	Tubería Estructural 120 x 60 x 3 mm Grado C
Apoyo de cumbrera	Tubería Estructural 120 x 60 x 3 mm Grado C
Correas	Tubería Estructural 120 x 60 x 3 mm Grado C
Muros	Durapanel
Techo	Tejas opacas de polipropileno TECHOLIT
Baranda	Tubería Estructural 1 ½ pulg. Grado C
Piso	Acabado de piso en concreto 20 mm
Cielo raso	Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero
	Pañete en yeso

Fuente: Autor

Las dimensiones y propiedades del material fueron suministradas por el catálogo de productos COLMENA para perfiles estructurales tubulares; en la Tabla 11.2 y Tabla 11.3 se especifican las propiedades de la sección PTE 300x300x10 mm.

Tabla 11.2 Propiedades de la sección PTE 300X300X10										
H (mm)	B (mm)	t (mm)	R (cm)	A (cm ²)	S _x (cm ³)	Z _x (cm ³)	I _x (cm ⁴)	h (mm)	h (mm)	r (mm)
300	300	10	11,77	113,42	1047,59	1223,86	15713,90	240	240	20

Fuente: Autor

Tabla 11.3 Propiedades mecánicas de la sección PTE 300X300X10				
Fy		Fu		E
PSI	kg/cm ²	PSI	kg/cm ²	Kg/cm ²
50000	3522	62000	4368	2040000

Fuente: Autor

11.3. AVALÚO DE CARGAS

En el avalúo de cargas se tuvo en cuenta la carga muerta (peso de los elementos estructurales y no estructurales) y la carga viva de la vivienda, para establecer la carga total de la estructura habitable (Ver ANEXO A).

11.3.1. Carga Muerta

Para definir la carga muerta de la estructura, se calculó el peso de columnas, vigas, losa maciza, cubierta, muros, baranda, y estructura de piso y cielo raso; se determinaron las densidades de masas para cada material utilizado en la vivienda de acuerdo con lo estipulado en el numeral B.3.2 de la NSR -10, cabe aclarar que

para que los valores de peso estuvieran en N/m³ fue necesario multiplicarlos por la aceleración de la gravedad [30]. La Tabla 11.4 registra los pesos de los elementos estructurales de la vivienda.

Tabla 11.4 Peso de los elementos estructurales de la parte habitable

Columna							
Elemento	Dimensión (mm)	Área (m ²)	Altura (m)	Cantidad	Volumen total (m ³)	Densidad (KN/m ³)	Peso (KN)
Columna	300x300x10	0,0113	2,8	18	0,572	76,44	43,696
Peso Total de Columnas(kN)							43,696
Viga							
Elemento	Dimensión (mm)	Área (m ²)	Long. (m)	Cantidad	Volumen total (m ³)	Densidad (KN/m ³)	Peso (KN)
Viga (1,2,3)	300x300x10	0,0113	10,45	3	0,356	76,44	27,180
Viga (2')	300x300x10	0,0113	1,75	1	0,020	76,44	1,517
Viga (A,B,E)	300x300x10	0,0113	5,8	3	0,197	76,44	15,085
Viga (C,D)	300x300x10	0,0113	6,1	2	0,138	76,44	10,577
Peso Total de Vigas (kN)							54,360
Losa tanque							
Elemento	Dimensión (mm)	Ancho (m)	Long. (m)	Altura (m)	Volumen total (m ³)	Peso Específico (KN/m ²)	Peso (KN)
Metaldeck	2,35x2,05	2,35	2,05	0,1	0,482	7,57	36,468
Peso Total de Losa Maciza (kN)							36,468
Cubierta							
Elemento	Dimensión (mm)	Área (m ²)	Long. (m)	Cantidad	Volumen total (m ³)	Densidad (KN/m ³)	Peso (KN)
Puntal	300x300x10	0,0113	1	6	0,068	76,44	5,202
Alfardas	120x60x3	0,00102	10,8	8	0,088	76,44	6,737
Apoyo cumbrera	120x60x3	0,00102	7	1	0,007	76,44	0,546
Correas	120x60x3	0,00102	7	16	0,114	76,44	8,733
Peso Total de Cubierta (kN)							21,217

Fuente: Autor

En el cálculo del peso de los elementos no estructurales (Tabla 11.5), se emplearon las cargas muertas mínimas propuestas en el numeral B.3.4 de la NSR-10, mientras que para estipular el peso de las tejas y del muro termoacústico se utilizó el peso específico definido por el fabricante.

Tabla 11.5 Peso de los elementos no estructurales

Muro Termoacústico	
--------------------	--

Elemento	Ancho (m)	Long. (m)	Altura (m)	Volumen total (m³)	Densidad (KN/m³)	Peso (KN)			
Durapanel	0,125	61,12	2,5	19,1	0,1176	2,246			
	0,125	19,8	1	2,475	0,1176	0,291			
	Peso Total de Muros (kN)					2,537			
Pisos y Cielo Raso									
Elemento	Base (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen total (m3)	Carga (KN/m²)	Peso (KN)			
Baldosa cerámica	7	11,95	0,02	1,673	0,8	66,920			
Acabado de piso	7	11,95	0,02	1,673	0,4	33,460			
Cielo raso	7	9,9	0,08	5,544	0,25	17,325			
Peso Total de Pisos y Cielo Raso (kN)						117,705			
Baranda									
Elemento	Diám. (pulg)	Esp. (mm)	Alt. (m)	Perím. (m)	Área (m²)	Cant.	Volumen total (m³)	Densidad (KN/m³)	Peso (KN)
Perfil circular	1 1/2	3	1	-	0,00043	40	0,017	76,44	1,306
Perfil circular	1 1/2	3	-	42,9	0,00043	5	0,018	76,44	1,400
Peso Total de Barandas (kN)								2,706	
Tejas de Polipropileno									
Elemento	Área unidad (m²)	Área total de cubierta (m²)	Cantidad total de tejas	Peso Unitario (KN)			Peso (KN)		
Teja N° 7	1,35	69,3	52	2,68			139,360		
Peso Total de Tejas (kN)							139,360		

Fuente: Autor

Con los datos registrados en la Tabla 11.4 y Tabla 11.5, se realizó un resumen de los pesos y carga muerta de cada componente y del total de la estructura, tal como se muestra en la Tabla 11.6.

Tabla 11.6 Carga muerta de la vivienda

Componente	Peso del componente (KN)	Área en planta (m ²)	Carga Muerta (KN/m ²)
Peso propio de la estructura	221,004	83,65	2,642
Cubierta	197,045	74,118	2,659
Σ	418,049	-	5,301

Fuente: Autor

11.3.2. Carga Viva

Por disposición de la NSR -10 en el numeral B.4.2.1, se especificaron las cargas vivas mínimas requeridas que se deben utilizar en el diseño de la vivienda; de acuerdo a la ocupación o uso de la estructura, y al tipo de cubierta (Tabla 11.7), la carga uniforme se definió por metro cuadrado de área en planta.

Tabla 11.7 Carga viva de la vivienda

Ocupación o uso		Carga Viva (KN/m ²)
Residencial	Cuartos privados y sus corredores	1,8
Tipo de cubierta		Carga Viva (KN/m ²)
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometida a cargas superiores a la aquí estipulada		0,5

Fuente: NSR 10 – Título B

11.3.3. Resumen de Cargas

Al definir la carga muerta y viva de cada uno de los componentes de la vivienda, se llevó a cabo un resumen de las cargas a las que se encuentra expuesta la estructura habitable (Tabla 11.8).

Tabla 11.8 Resumen de cargas de la estructura habitable

Componente	Peso total (KN)	Área en Planta (m ²)	Carga Muerta (KN/m ²)	Carga Viva (KN/m ²)	Carga Total (KN/m ²)
Peso propio de la estructura	221,004	83,65	2,642	1,8	4,442
Cubierta	197,045	74,118	2,659	0,5	3,159
Σ	418,049	-	5,301	2,3	7,601

Fuente: Autor

11.4. GRADO DE IRREGULARIDAD DE LA ESTRUCTURA

En el diseño sísmico de la vivienda es importante señalar el grado de irregularidad de la estructura, evidenciado en el alzado (altura), planta y en la redundancia del sistema de resistencia sísmica de pórticos; en el numeral A.3.3 de la NSR-10 se describe y especifica los tipos de irregularidades para determinar los coeficientes de reducción de energía causados por irregularidades en altura (ϕ_a), en planta (ϕ_p) y por la ausencia de redundancia (ϕ_r) que presenta la vivienda [31]; los cuales se evidencian en la Tabla 11.9.

Tabla 11.9 Coeficientes de grado de irregularidad

Irregularidad	Coeficiente ϕ	Referencia
En planta	1	Tabla A.3-6
En alzado	1	Tabla A.3-6
Ausencia de redundancia	1	A.3.3.8

Fuente: Autor

11.5. CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía que se empleó en el diseño, primero se estableció el coeficiente de capacidad de disipación de energía básico, el cual está relacionado con el sistema estructural de resistencia sísmica y con el grado de disipación de energía del material estructural [31].

Tabla 11.10 Grado de capacidad de disipación de energía

Capacidad de disipación de energía	Zona de Amenaza Sísmica		
	Baja	Intermedia	Alta
Mínima - DMI	X	-	-
Moderada - DMO	X	X	-
Especial - DES	X	X	X

Fuente: NSR 10 - Prefacio

Teniendo en cuenta que la ubicación del área de estudio (Puerto López) se encuentra en una zona de amenaza intermedia [31], se definió que el grado de disipación de energía para el proyecto va a corresponder a Disipación de Energía Moderada – DMO (Ver Tabla 11.10). Adicionalmente se eligió el sistema estructural de la vivienda, el cual tiene las características de un sistema de pórticos resistente a momentos en acero; con estos datos, se procedió a identificar el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía básico - R_0 (Tabla 11.11).

Tabla 11.11 Sistema estructural de pórtico resistente a momentos

Sistema de Pórtico		Zonas de Amenaza Sísmica							
Resistente a Momentos				Alta		Intermedia		Baja	
Sistema resistencia sísmica	Sistema resistencia para cargas verticales	R_0	Ω_0	Uso permit.	Altura máx.	Uso permit.	Altura máx.	Uso permit.	Altura máx.
Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)									
De acero	El mismo	5	3	No se permite		Si	Sin límite	Si	Sin límite

Fuente: NSR 10 - Título A - Tabla A.3-3

Dado que la vivienda es una estructura de acero, en donde las uniones de su sistema van hacer soldadas en obra, la NSR-10 establece que el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía básico se debe multiplicar por 0,9 [31]; considerando los coeficientes de irregularidades y de disipación de energía básico, se identificó el valor coeficiente de capacidad de disipación de energía (R) para ser empleado en el diseño, dado por la siguiente ecuación:

$$R = \phi_p \phi_a \phi_r R_0 \quad (5)$$

$$R = 1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 0,9$$

$$R = 4,5$$

11.6. MOVIMIENTO SÍSMICO DE DISEÑO

El movimiento sísmico de diseño se define con base a las siguientes condiciones:

- Establecer en qué tipo de zona de amenaza sísmica se encuentra ubicada el área de estudio, para poder identificar los valores de la aceleración pico efectiva (A_a) y la velocidad horizontal pico efectiva (A_v). [31]
- Especificar el grupo de uso de la estructura para obtener el coeficiente de importancia de la misma. [31]
- Determinar los coeficientes de amplificación que afectan la aceleración en periodos cortos (F_a) e intermedios (F_v), calculados por medio de las características del suelo subyacente en el área de estudio. [31]

De acuerdo con lo planteado en el proyecto y a la propuesta arquitectónica, el uso de la estructura es residencial, por lo tanto, pertenece al grupo de uso I, con un valor de coeficiente de importancia (I) [31]; igualmente, la norma específica los coeficientes de la aceleración horizontal pico efectiva (A_a) y velocidad horizontal pico efectiva (A_v) para cada uno de los municipios del país, los coeficientes usados para el proyecto se especifican en la Tabla 11.12.

Tabla 11.12 Valores de A_a , A_v , A_e , A_d y definición de la zona de amenaza sísmica

Municipio	Código municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Puerto López	50573	0,05	0,15	Intermedia	0,04	0,02

Fuente: NSR-10 (Apéndice A-4)

Los valores de F_a y F_v están relacionados por el tipo de perfil de suelo del lugar del proyecto, a través de un estudio geotécnico realizado en el municipio de Puerto López, se establece que el perfil de suelo de la zona de estudio es tipo D. Teniendo en cuenta lo anterior, se determinó el valor de los coeficientes F_a y F_v por de medio de la Tabla 11.13 y Tabla 11.14, respectivamente.

Tabla 11.13 Valores del Coeficiente F_a

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos					F_a
	$A_a \leq 0,1$	$A_a = 0,2$	$A_a = 0,3$	$A_a = 0,4$	$A_a \geq 0,5$	
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1	1	1
C	1,2	1,2	1,1	1	1	1
D	1,6	1,4	1,2	1,1	1	1
E	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9	0,9
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Fuente: NSR-10 - Tabla A.2.4-3

Por medio de una interpolación entre los valores intermedios de A_v del mismo tipo de perfil de suelo, se identificó el coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en periodos intermedios (F_v).

Tabla 11.14 Valores del Coeficiente F_v

Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos					F_v
	$A_v \leq 0,1$	$A_v = 0,2$	$A_v = 0,3$	$A_v = 0,4$	$A_v \geq 0,5$	
A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
B	1	1	1	1	1	1
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
D	2,4	2	1,8	1,6	1,5	1,5
E	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4	2,4
F	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota	Véase nota

Fuente: NSR-10 - Tabla A.2.4-4

De acuerdo al numeral A.4.2.2. de la NSR-10, la estimación del periodo fundamental de la estructura (T) se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$T = C_t h^\alpha \quad (6)$$

Donde,

T es el periodo fundamental de la estructura.

h es la altura en metros.

C_t y α son valores que están en función del tipo de sistema estructural de resistencia sísmica (Tabla 11.15).

Tabla 11.15 Valor de los parámetros C_t y α

Periodo fundamental de la edificación		
Sistema estructural	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0,072	0,8

Fuente: NSR-10 – Tabla A.4.2-1

Con lo mencionado anteriormente, se calculó el periodo fundamental de la estructura:

$$T = 0,072 * 3,7^{0,8} = 0,205 \text{ s}$$

En la Tabla 11.16 se presentan los parámetros sísmicos obtenidos para la construcción del espectro elástico de aceleración de diseño.

Tabla 11.16 Parámetros sísmicos para el espectro elástico

Aa	Av	Fa	Fv	I	T (s)
0,05	0,15	1,6	2,2	1	0,205

Fuente: Autor

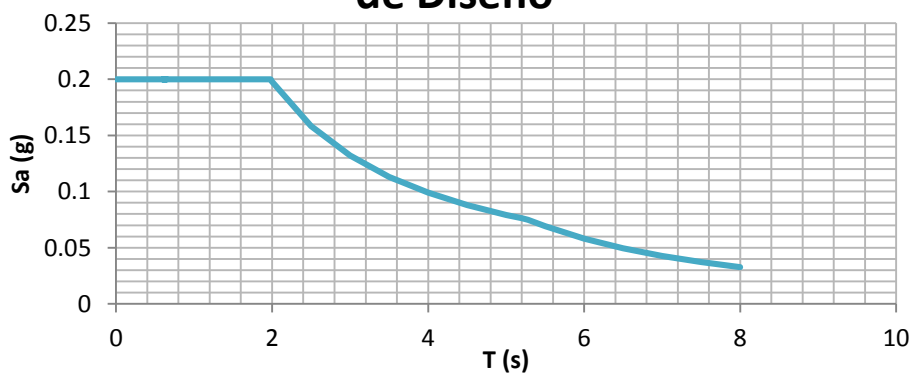
Posteriormente se determinaron los valores necesarios (Tabla 11.17) para lograr el espectro de aceleración de diseño para el periodo de vibración – Sa (Gráfica 11.1).

Tabla 11.17 Valores del espectro de aceleración

Datos del Espectro		
$S_a = 2,5 * A_a * F_a * I$	S _a	0,2
$S_a = \frac{1,2 * A_v * F_v * I}{T}$	S _a	1,93
$S_a = \frac{1,2 * A_v * F_v * T_L I}{T^2}$	S _a	49,72
$T_0 = 0,1 \frac{A_v * F_v}{A_a * F_a}$	T ₀	0,41
$T_C = 0,48 \frac{A_v * F_v}{A_a * F_a}$	T _C	1,98
$T_L = 2,4 * F_v$	T _L	5,28

Fuente: Autor

Espectro de Elástico de Aceleración de Diseño



Gráfica 11.1 Espectro elástico de aceleración de diseño

Fuente: Autor

11.7.FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

Con el propósito de definir la fuerza sísmica horizontal (F_x) en estructuras que pertenecen al grupo de uso I y que están localizadas en zona de amenaza sísmica

intermedia, la NSR-10 establece que el método de la fuerza horizontal equivalente se puede utilizar en cualquier edificación regular e irregular [31]; considerando que para el cálculo de la fuerza sísmica horizontal se tiene que:

$$F_x = C_{vx} * V_s \quad (7) \quad C_{vx} = \frac{m_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i * h_i^k)} \quad (8) \quad V_s = S_a * g * M \quad (9)$$

Donde,

F_x es la fuerza sísmica horizontal

C_{vx} es el coeficiente

V_s es el cortante sísmico en la base

M es la masa total de la edificación

m_i, m_x son parte de M que está colocada en el nivel i o x

h_i, h_x son la altura en metros, medida desde la base, del nivel i o x

k es el exponente relacionado con el periodo fundamental de la edificación, el cual se obtiene con los siguientes parámetros:

- ✓ $T \leq 0,5 \text{ s} \rightarrow k = 1,0$
- ✓ $0,5 \text{ s} \leq T \leq 2,5 \text{ s} \rightarrow k = 0,75 + 0,5T$
- ✓ $T \geq 2,5 \text{ s} \rightarrow k = 2,0$

En la siguiente tabla (Tabla 11.18) se registraron los datos necesarios para el cálculo de la fuerza horizontal equivalente.

Tabla 11.18 Datos para la fuerza horizontal equivalente

K	Peso Propio (KN)	$S_a(g)$	$V_x(KN)$
1	418,049	0,2	83,610

Fuente: Autor

Posteriormente se realizó el cálculo de la fuerza horizontal producida en el primer piso; los resultados obtenidos se organizaron en la Tabla 11.19.

Tabla 11.19 Fuerza horizontal equivalente

Piso	$W_i(KN)$	$h(m)$	$h^k(m)$	$W_i * h^k(KN-m)$	C_{vi}	$F_{xt}(KN)$	$V_{it}(KN)$
Planta 1	418,049	2,75	2,75	1149,635	1,0	83,610	83,610
Σ	418,049			1149,635	1,0	83,610	

Fuente: Autor

11.8. COMBINACIONES DE CARGAS MAYORADAS USANDO EL MÉTODO DE RESISTENCIA ULTIMA

Las resistencias de diseño de los elementos estructurales, deben igualar o exceder los valores generados por las cargas mayoradas de las combinaciones básicas establecidas en el numeral B.2.4.2 de la NSR-10 [30], en la Tabla 11.20 se especificaron las combinaciones de carga mayoradas usadas en el proyecto.

Tabla 11.20 Combinaciones de cargas mayoradas

Combinación	Carga Mayorada	
1,4 D	1,4 * (5,301)	7,421 KN/m ²
1,2 D + 1,6 L	1,2 * (5,301) + 1,6 * (2,3)	10,041 KN/m ²

Fuente: Autor

Donde, D es la carga muerta y L la carga viva de toda la estructura; por lo tanto, se obtiene que la carga mayorada a la cual debe igualar o exceder la resistencia de diseño de los elementos estructurales es de 10,041 KN/m².

11.9. MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La modelación de la vivienda en un sistema de pórticos resistente a momentos en acero, se realizó con el fin de verificar de las derivas conforme a la fuerza sísmica aplicada y de este modo efectuar el diseño de cada uno de los elementos estructurales, teniendo en cuenta las diferentes combinaciones de cargas establecidas por la NSR-10 y la fuerza sísmica equivalente. Dicha modelación se ejecutó por medio del software ETABS.

11.9.1. Definición del material

The figure displays two screenshots of the ETABS software interface for defining material properties for A500GrC steel.

Material Property Data (Left Window):

- General Data:** Material Name: A500GrC, Material Type: Steel, Directional Symmetry Type: Isotropic, Material Display Color: Green, Material Notes: Modify/Show Notes...
- Material Weight and Mass:** Specify Weight Density (selected), Weight per Unit Volume: 76.9729 kN/m³, Mass per Unit Volume: 7.849 kN-s²/m⁴.
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E: 210000000 kPa, Poisson's Ratio, U: 0.3, Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C, Shear Modulus, G: 8076923.08 kPa.
- Design Property Data:** Modify/Show Material Property Design Data...
- Advanced Material Property Data:** Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties...

Material Property Design Data (Right Window):

- Material Name and Type:** Material Name: A500GrC, Material Type: Steel, Isotropic.
- Design Properties for Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy: 345000 kPa, Minimum Tensile Strength, Fu: 425000 kPa, Effective Yield Stress, Fye: 348870 kPa, Effective Tensile Strength, Fue: 439890 kPa.

Figura 11.2 Material de la estructura metálica: Acero ASTM 500 Grado C
Fuente: Autor

The image shows two screenshots of software dialog boxes for material properties.

Left Dialog Box: Material Property Design Data

- General Data**
 - Material Name: Concreto F'c 21 MPa
 - Material Type: Concrete
 - Directional Symmetry Type: Isotropic
 - Material Display Color: [Color Selection]
 - Material Notes: [Modify/Show Notes...]
- Material Weight and Mass**
 - ☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density
 - Weight per Unit Volume: 24 kN/m³
 - Mass per Unit Volume: 2.447 kN-s²/m⁴
- Mechanical Property Data**
 - Modulus of Elasticity, E: 21538105.77 kPa
 - Poisson's Ratio, U: 0.2
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.000099 1/C
 - Shear Modulus, G: 8974210.74 kPa
- Design Property Data**
 - [Modify/Show Material Property Design Data...]
- Advanced Material Property Data**
 - [Nonlinear Material Data...]
 - [Material Damping Properties...]
 - [Time Dependent Properties...]

Right Dialog Box: Material Property Design Data

- Material Name and Type**
 - Material Name: Concreto F'c 21 MPa
 - Material Type: Concrete, Isotropic
- Design Properties for Concrete Materials**
 - Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 21000 kPa
 - ☐ Lightweight Concrete
 - Shear Strength Reduction Factor: []

Figura 11.3 Material de la losa maciza: Concreto F'c 21 MPa
Fuente: Autor

11.9.2. Definición de perfiles (Columnas – Vigas)

The image shows a screenshot of the 'Section Property Source' dialog box.

- General Data**
 - Property Name: TUB300X300X10
 - Material: A500GrC
 - Display Color: [Color Selection]
 - Notes: [Modify/Show Notes...]
- Shape**
 - Section Shape: Steel Tube
- Section Property Source**
 - Source: User Defined
- Section Dimensions**
 - Total Depth: 0.3 m
 - Total Width: 0.3 m
 - Flange Thickness: 1E-02 m
 - Web Thickness: 1E-02 m
 - Corner Radius: 0 m
- Property Modifiers**
 - [Modify/Show Modifiers...]
 - Currently Default

Buttons: [Show Section Properties...], [OK], [Cancel]

Figura 11.4 Definición de los perfiles (columnas – vigas)
Fuente: Autor

11.9.3. Definición de los casos de carga

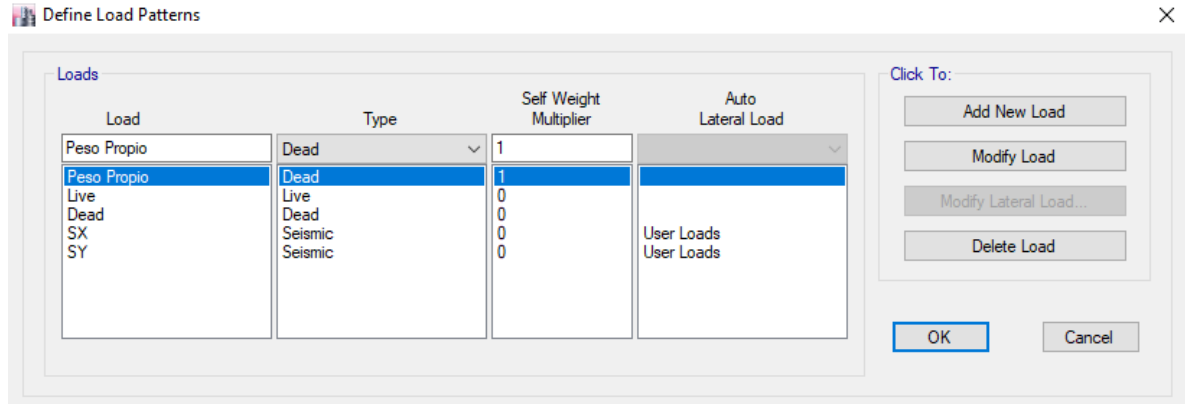


Figura 11.5 Definición de los casos de carga
Fuente: Autor

11.9.4. Definición de la geometría

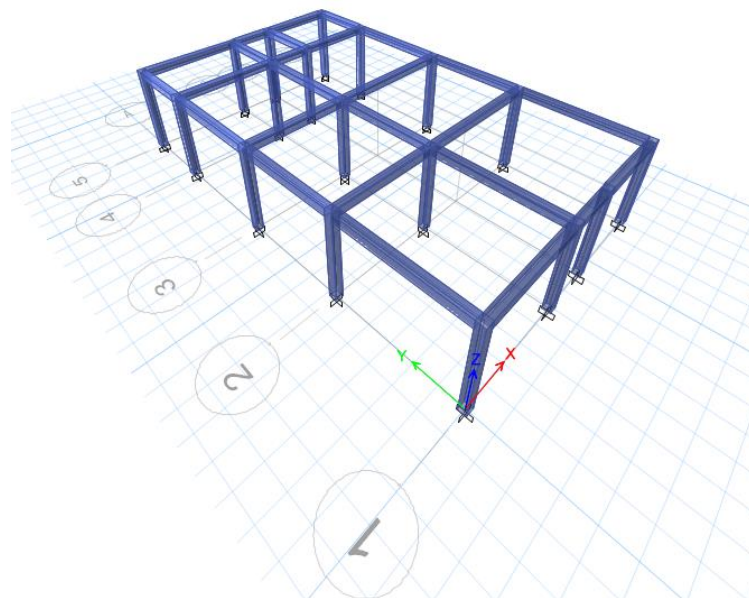


Figura 11.6 Definición de la geometría de la estructura habitable
Fuente: Autor

12. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE

El diseño de la estructura flotante se realizó de acuerdo con las especificaciones y requerimientos definidos en los capítulos 6 y 7 del Decreto 2049 de 1956, en los cuales se establecen una serie de condiciones para las dimensiones y propiedades físico-mecánicas de los materiales para el diseño de una embarcación.

12.1. DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE

Para establecer las propiedades de los materiales y efectuar los diferentes cálculos de flotabilidad y estabilidad de la estructura flotante, se propusieron las siguientes dimensiones:

Tabla 12.1 Dimensiones de la estructura flotante

DETALLE	MEDIDA (m)
Eslora	14
Eslora en el plan	13,4
Eslora mínima de flotación	13,99
Eslora máxima de flotación	14
Manga	8,75
Manga en el fondo	8,15
Francobordo	0,5
Puntal Costado	1,5
Calado Vacío	0,25
Puntal Útil	0,75

Fuente: Autor

Sin embargo, se debe tener en cuenta que según el artículo 6-1-2, los requerimientos y especificaciones del Decreto 2049 de 1956 solo se pueden aplicar si la estructura cumple las siguientes condiciones, de lo contrario se deberá realizar un diseño especializado. [5]

- ✓ Eslora (E) < 30 veces el puntal costado (PC)
- ✓ Manga (M) < 6 veces el puntal costado (PC)
- ✓ Eslora (E) < 5 veces la manga (M)

Con los datos tabla anterior (Ver Tabla 12.1), se verificó el cumplimiento de las condiciones mencionadas, tal como se muestra en la Tabla 12.2, para lo cual se obtuvo que se pueden aplicar los requerimientos y especificaciones del decreto 2049 de 1956 para el diseño de dicha estructura.

Tabla 12.2 Verificación de condiciones para las dimensiones de la estructura flotante

Condiciones			Criterio
E (m)	<	30PC (m)	
14	<	45	Cumple

Condiciones			Criterio
M (m)	<	6PC (m)	Cumple
8,75	<	9	
E (m)	<	5M (m)	Cumple
14	<	43,75	

Fuente: Autor

12.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE

En los capítulos 7 y 21 de la norma para construcción, inspección y clasificación de embarcaciones (decreto 2049 de 1956) se establecen una serie de parámetros y recomendaciones que permiten definir las propiedades de los materiales para una embarcación; dichos parámetros fueron empleados para determinar los espesores mínimos de las planchas del casco de la estructura flotante, como también se definieron las dimensiones de las platinas de refuerzo para las cuadernas y los ángulos esquineros para la unión de las planchas de cubierta y costado.

Inicialmente, se establecieron las dimensiones de las platinas para la cuaderna, las cuales se encuentran limitadas por el puntal costado y un valor N, este último se calcula con la siguiente formula:

$$N = s \times h \times 0,46 \times 10,76 \quad (10)$$

Donde,

S es el espacio entre refuerzos verticales de mamparos en metros

H es la distancia vertical tomada de la mitad de la luz libre entre apoyos (l) a la cubierta en la línea central (puntal centro)

$$N = s \times h \times 0,46 \times 10,76 \rightarrow N = 1,5 * 0,75 * 0,46 * 10,76 \rightarrow N = 5,57 \cong 6$$

Con el valor anterior (N) y el puntal costado se determinó las dimensiones de las platinas para las cuadernas como se muestra en la Tabla 12.3.

Tabla 12.3 Platinas para cuadernas y refuerzos en pulgadas

Puntal costado		Valores de N							
m	ft	2	3	4	5	6	7	8	9
1,22	4	-	-	-	-	-	-	-	2 ½ X ¼
1,37	4,5	-	-	-	-	-	2 ½ X ¼	3 X ¼	3 X ¼
1,52	5	-	-	-	2 ½ X ¼	3 X ¼	3 X ¼	3 X 5/16	3 X 5/16
1,68	5,5	-	-	2 ½ X ¼	3 X ¼	3 X ¼	3 X 5/16	3 ½ X 5/16	3 ½ X 5/16

Fuente: Decreto 2049 de 1956

Dado que en la tabla anterior no se encuentra el valor del puntal costado definido para la estructura flotante (1,5 metros), se empleó la dimensión de la platina para un puntal costado de 1,52 metros, es decir una platina de 3" X ¼" para las cuadernas.

Una vez definidas las dimensiones de las platinas para las cuadernas, se establecieron las dimensiones de las cuadernas para un ángulo de lados desiguales, teniendo en cuenta la separación entre estas (0,40 metros) y el puntal costado (1,5 metros); ya que la luz libre entre apoyos de la estructura es de 1,1 metros se tomaron los valores para una luz libre de 1 metro, como se puede apreciar en la Tabla 12.4.

Tabla 12.4 Dimensiones de las cuadernas para una eslora menor de 20 metros

Puntal costado (m)	Separación entre cuadernas S = 0,40 metros				
	Luz libre entre apoyos – Metros				
	1,00	1,50	1,75	2,00	2,25
0,75	1 ½ X 1 ½ X 3/16	2 X 1 ½ X 1/4	2 X 1 ½ X 1/4	2 ½ X 1 ½ X 1/4	2 ½ X 1 ½ X 3/16
1,00	2 X 1 ½ X 3/16	2 ½ X 1 ½ X 1/4	3 X 1 ½ X 1/4	3 X 1 ½ X 3/8	-
1,25	2 X 1 ½ X 1/4	3 X 1 ½ X 1/4	3 X 1 ½ X 5/16	-	-
1,50	2 X 1 ½ X 1/4	3 X 1 ½ X 5/16	3 X 2 X 3/8	-	-
1,75	2 ½ X 1 ½ X 3/16	3 X 2 X 5/16	-	-	-

Fuente: Decreto 2049 de 1956

Además, es importante destacar que en el decreto se tienen dos parámetros para definir los espesores mínimos de las planchas del casco, los cuales son la eslora y la separación entre cuadernas [5], que en este caso son menor a 20 metros y 0,40 metros, respectivamente.

Tabla 12.5 Espesores mínimos de las planchas del casco

Eslora (m)	Planchas del casco (mm) para una separación entre cuadernas de 0,40 metros			
	Fondo	Pantoques	Costados	Cubierta y Mamparos
0 – 6	2,5	3,2	2,5	2,5
6 – 10	2,5	3,2	2,5	2,5
10 – 15	2,8	3,5	2,8	2,5
15 – 20	3,5	4,0	3,5	3,2

Fuente: Decreto 2049 de 1956

Por lo tanto, se tiene que los espesores mínimos de las planchas del casco para una eslora menor a 20 metros y una separación entre cuadernas de 0,40 metros son:

- ✓ Fondo: espesor mínimo de 2,8 mm
- ✓ Pantoques: espesor mínimo de 3,5 mm
- ✓ Costados: espesor mínimo de 2,8 mm
- ✓ Cubierta – mamparos: espesor mínimo 2,5 mm

Finalmente, se seleccionó la lámina adecuada para cada una de las planchas del casco teniendo en cuenta los espesores mínimos obtenidos con el decreto; las

dimensiones y pesos de las láminas Hot Rolled (H.R.) fueron seleccionados del catálogo de STECKERL Hierros y Aceros.

- ✓ **FONDO:** Lamina H.R. A-36 de 1/4" 1,2 X 6 m de 6 mm de espesor con un peso de 269,14 Kg
- ✓ **Pantoques:** Lamina H.R. A-36 de 1/4" 1,2 X 6 m de 6 mm de espesor con un peso de 269,14 Kg
- ✓ **Costados:** Lamina H.R. A-36 de 3/16" 1,2 X 6 m de 5 mm de espesor con un peso de 179,28 Kg
- ✓ **Cubierta:** Lamina H.R. A-36 de 3/16" 1,2 X 6 m de 5 mm de espesor con un peso de 179,28 Kg
- ✓ **Mamparos:** Lamina H.R. A-36 de 3/16" 1,2 X 6 m de 5 mm de espesor con un peso de 179,28 Kg

Adicionalmente, en el artículo 7-1-5 del decreto, se determina que los ángulos esquineros que permiten la unión entre la cubierta y el costado deben tener un espesor mínimo de 0,06 in (1,524 mm) mayor al espesor de la plancha más delgada de los dos mencionadas (cubierta 3,17 mm y costado 3,17 mm) [5]; por lo tanto, se tiene que el espesor mínimo de los ángulos esquineros es:

$$\text{Espesor mínimo}_{\text{ángulos}} = 1,524 \text{ mm} + \text{Espesor mínimo}_{\text{cubierta}} \quad (11)$$

$$\text{Espesor mínimo}_{\text{ángulos}} = 1,524 + 3,17 \rightarrow \text{Espesor mínimo}_{\text{ángulos}} = 4,694 \text{ mm}$$

13. SISTEMA DE ANCLAJE

En el momento que se presente un evento de inundación, la vivienda flotante se verá expuesta a movimientos en sentido vertical y horizontal; por lo tanto, se debe implementar un sistema que garantice el ascenso de la estructura pero que restrinja su traslado de ubicación. Actualmente, existen diversos sistemas que permiten la inmovilización de plataformas flotantes, entre los cuales cabe destacar:

13.1. SISTEMA DE VIGAS-GUÍA

Se caracteriza por tener un conjunto de vigas (HEB) fijadas de manera vertical a un muelle y dos rodillos ensamblados a un borde de la estructura (Ver Figura 13.1), que al unirse firmemente a la viga crean una fuerte contención, evitando así movimientos horizontales, pero accediendo a desplazamientos verticales. [32]



Figura 13.1 Sistema de vigas – guía
Fuente: ITP, Pantalanes flotantes

Sin embargo, dado que la vivienda flotante no va a estar ubicada alrededor de un muelle, las vigas HEB no se podrán fijar de manera vertical a ningún elemento; por lo cual, para emplear este sistema se tendría que llevar a cabo una cimentación para dar la estabilidad necesaria a cada una de las vigas, para que estas a su vez soporten las fuerzas generadas por la vivienda y eviten de manera satisfactoria los movimientos horizontales

13.2. SISTEMA DE ANCLAJE MUERTO

Permite establecer diferentes puntos de anclaje para impedir el movimiento de la estructura flotante; el anclaje muerto está constituido por pesos de hormigón armado y pueden presentar formas de cono truncado o de ortoedro; además, la unión o conexión entre la estructura flotante y los anclajes muertos se realiza a través de amarras (cadenas de acero galvanizado o fibra de poliéster) (Ver Figura 13.2), este sistema genera desplazamientos horizontales menores y evita la construcción de cimentaciones profundas. [32]

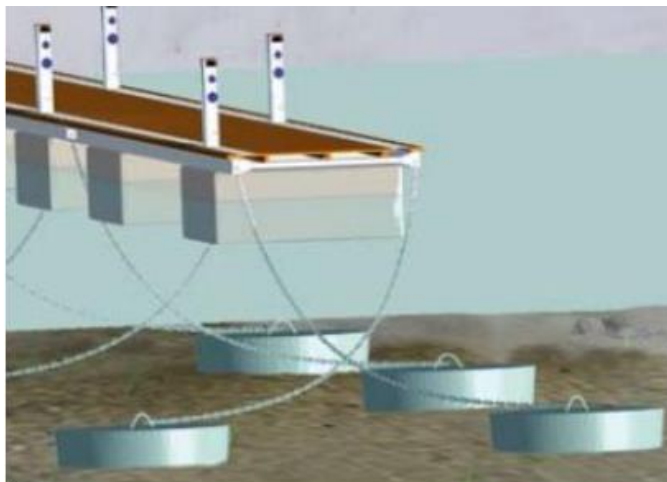


Figura 13.2 Sistema de anclaje muerto
Fuente: ITP, Pantalanes flotantes

La principal ventaja de este sistema de anclaje es que no se debe llevar a cabo la construcción de cimentaciones profundas y no requieren de mayor altura; asimismo, su desventaja es el espacio que se debe emplear para su construcción, dado que, al tener forma de cono truncado o de ortoedro su diámetro es mayor, por lo tanto, es necesario disponer de un área mayor para su implementación.

Adicionalmente, se debe emplear un sistema de poleas que faciliten el desplazamiento de las cadenas de acero galvanizado o fibra de poliéster y regulen los movimientos verticales de la vivienda flotante cada vez que se presenten los eventos de inundación. Además, es importante destacar que, el sistema de anclaje muerto no restringe en su totalidad los movimientos horizontales, por lo cual, para su implementación se debe verificar que haya espacio disponible entre las construcciones colindantes, para evitar que la vivienda flotante choque contra ellas cada vez que se generen dichos movimientos.

13.3. SISTEMA PILOTADO O DE PARALES

Está formado por parales fijados en el terreno, los cuales se ubican en cada vértice de la estructura y se conectan mediante anillos metálicos, estos se acoplan o ensamblan a la estructura, permitiendo que la plataforma flotante se deslice de manera vertical a partir de la variación de los niveles de inundación [32]. El material constructivo de los parales o pilotes puede ser madera, concreto, acero o PVC; sin embargo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Si se emplean parales de madera, es necesario realizar un tratamiento adecuado a cada paral donde al estar en contacto con el agua en los diferentes eventos de inundación no se deterioren de manera inmediata. [7]
- ✓ Los parales de acero deben tener un tratamiento anticorrosivo y una tapa en la parte superior para impedir la entrada de agua en su interior. [33]

- ✓ Para que los parales de PVC soporten las cargas y fuerzas a las que se ven sometido sin sufrir grandes deformaciones, Molina y Walker (2010) recomiendan emplear un relleno de concreto, reforzado con 3 varillas de acero corrugado de 1/4". [7]
- ✓ Es necesario emplear un material que cubra los anillos metálicos para evitar daños en los parales cada vez que se genere un movimiento vertical en la vivienda flotante.

Este sistema a diferencia de los otros dos, no requiere ser fijado a un muelle ni disponer de un mayor espacio para su implementación; sin embargo, la desventaja de este sistema es que dependiendo del material empleado se debe aplicar un tratamiento a cada paral para que soporte estar en contacto con el agua y es necesario realizar un estudio de suelos, para el diseño de la cimentación de cada paral, ya que se encuentra fijo al terreno.

Sin embargo, a pesar de que se deben proteger los parales de madera y acero, estos son los que mayor resistencia presentan debido a sus diferentes propiedades y especificaciones; por lo tanto, el sistema de anclaje que se empleó para la vivienda flotante fue el sistema pilotado o de parales en acero, el cual está compuesto por 4 parales ubicados en cada vértice de la estructura flotante, donde cada paral tiene las siguientes características:

- ✓ Perfil estructural redondo de 8" de diámetro por 4 m de alto
- ✓ El sistema de conexión es un anillo metálico de 1,5 m X 0,2 m en lámina H.R de 3/16"
- ✓ Tratamiento anticorrosivo

Es importante mencionar que, se implementó el acero como material de construcción de los parales, ya que posee alta resistencia y elasticidad, lo cual lo hace apto para soportar grandes deformaciones y esfuerzos de tensión sin fallar de manera inmediata [34]; además con un tratamiento adecuado de anticorrosivo puede sobre llevar los efectos secundarios que se producen en este material al estar sumergido en agua durante los periodos de inundación.

Finalmente, cabe destacar que las dimensiones de los parales y el anillo metálico son valores supuestos en base al criterio ingenieril, por lo cual pueden variar, dado que no se obtuvieron por medio de cálculos para definir sus medidas.

14. ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD

14.1. ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD

El análisis de flotabilidad se llevó a cabo por medio de las áreas de flotación, las cuales se encuentran definidas por los siguientes datos:

Tabla 14.1 Datos para el análisis de flotabilidad

DETALLE	MEDIDA (m)
Eslora en el plan (E_1)	13,4
Eslora mínima de flotación (E_2)	13,99
Eslora máxima de flotación (E_3)	14
Manga en el plan (M_1)	8,15
Manga (M)	8,75
Francobordo (FB)	0,5
Puntal Costado (PC)	1,5
Calado Vacío (CV)	0,25
Puntal Útil (PU)	0,75

Fuente: Autor

14.1.1. Cálculo de áreas

Se determinaron tres áreas en la estructura flotante, las cuales se encuentran delimitadas por el fondo o plan, calado vacío y calado máximo de la misma, respectivamente, para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

➤ **Área del plan:**

$$\begin{aligned}A_1 &= E_1 \times M_1 \quad (12) \\A_1 &= 13,4 \text{ m} \times 8,15 \text{ m} \\A_1 &= 109,21 \text{ m}^2\end{aligned}$$

➤ **Área mínima de flotación:**

$$\begin{aligned}A_2 &= E_2 \times M \quad (13) \\A_2 &= 13,99 \text{ m} \times 8,75 \text{ m} \\A_2 &= 122,41 \text{ m}^2\end{aligned}$$

➤ **Área máxima de flotación:**

$$\begin{aligned}A_3 &= E_3 \times M \quad (14) \\A_3 &= 14 \text{ m} \times 8,75 \text{ m} \\A_3 &= 122,5 \text{ m}^2\end{aligned}$$

14.1.2. Cálculo de desplazamientos

Para determinar el desplazamiento total de la unidad por el peso específico del agua, el cual se encuentra comprendido entre el área del plan y el área máxima de

flotación, se realizaron dos cálculos de desplazamientos, vacío (peso de la unidad) y útil (carga general) [5]:

➤ Desplazamiento vacío:

$$D_v = \frac{A_1 + A_2}{2} \times CV \quad (15)$$

$$D_v = \frac{109,21 \text{ m}^2 + 122,41 \text{ m}^2}{2} \times 0,25 \text{ m}$$

$$D_v = 28,953 \text{ m}^3 = 28,953 \text{ Ton}$$

➤ Desplazamiento útil:

$$D_u = \frac{A_2 + A_3}{2} \times PU \quad (16)$$

$$D_u = \frac{122,41 \text{ m}^2 + 122,5 \text{ m}^2}{2} \times 0,75 \text{ m}$$

$$D_u = 91,842 \text{ m}^3 = 91,842 \text{ Ton}$$

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores se tiene que el desplazamiento total de la unidad es:

$$DT = D_v + D_u \quad (17)$$

$$DT = 28,953 \text{ Ton} + 91,842 \text{ Ton}$$

$$DT = 120,795 \text{ Ton}$$

14.1.3. Cálculo de la capacidad transportadora

El cálculo de la capacidad transportadora se encuentra limitado por el desplazamiento útil de la unidad y el desplazamiento útil remanente; este último es la sumatoria de todos los pesos que corresponden a la capacidad de los tanques de almacenamiento, la cantidad de personas, equipos y aparejos [5], dichos pesos son especificados en el decreto, tal como se muestra en la Tabla 14.2.

Tabla 14.2 Cálculo del desplazamiento útil remanente

Distribución del desplazamiento útil remanente (D_{du})	
Tanques (ton)	2
Equipos y aparejos (ton)	0,3
Tripulación (ton)	0,5
D_{du} (ton)	2,8

Fuente: Decreto 2049 (1956)

Por lo tanto, la capacidad transportadora de la estructura, es igual a:

$$CT_r = D_u - D_{du} \quad (18)$$

$$CT_r = 91,842 \text{ Ton} - 2,8 \text{ Ton}$$

$$CT_r = 89,042 \text{ Ton}$$

14.1.4. Coeficiente de flotabilidad

El coeficiente de flotabilidad es la relación entre la reserva de flotabilidad mínima y el desplazamiento total de la unidad por la acción del peso específico del agua, siendo el primero el espacio libre entre el área máxima de flotación y la cubierta de la estructura flotante, el resultado de dicha reserva de flotabilidad fue el siguiente:

$$\begin{aligned} RFM &= A_3 \times FB \quad (19) \\ RFM &= 122,5 \, m^2 \times 0,5 \, m \\ RFM &= 61,25 \, m^3 = 61,25 \, Ton \end{aligned}$$

Al determinar la reserva de flotabilidad mínima se procedió a calcular el coeficiente de flotabilidad, obteniendo los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} CF &= \frac{RFM}{DT} \times 100 \quad (20) \\ CF &= \frac{61,25 \, Ton}{120,795 \, Ton} \times 100 \\ CF &= 50,71 \, \% \end{aligned}$$

14.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para efectuar los diferentes cálculos y el respectivo análisis de estabilidad de la estructura, se tuvo en cuenta la estabilidad estática transversal y longitudinal de la unidad, contemplando las dos situaciones posibles, estando vacía y a plena carga; para lo cual se emplearon las formulas establecidas en el decreto 2049 de 1956 y los cálculos requeridos por la Inspección Fluvial. [5] Es importante aclarar que, los siguientes cálculos se realizaron para las dos situaciones planteadas anteriormente (unidad estando vacía y a plena carga).

14.2.1. Estabilidad estática transversal de la estructura flotante

14.2.1.1. Altura del centro de carena (KC)

El centro de carena es el punto de aplicación de la fuerza de empuje en una embarcación, el cual se encuentra ubicado a una altura KC de la quilla, establecida en el fondo de la unidad [11]. La altura del centro de carena se calculó de la siguiente manera:

✓ **Unidad estando vacía:**

$$KC_v = \frac{5 \times CV}{6} - \frac{V_c}{3 \times A_2} \quad (21)$$

Donde,

KC_v es la altura del centro de carena de la unidad estando vacía

CV es el calado vacío

A₂ es el área mínima de flotación

V_c es el volumen sumergido de la embarcación vacía, delimitado por el área mínima de flotación y el calado vacío

$$KC = \frac{5 \times 0,25 \text{ m}}{6} - \frac{0,25 \text{ m} \times 122,4125 \text{ m}^2}{3 \times 122,4125 \text{ m}^2}$$

$$KC = 0,125 \text{ m}$$

✓ **Unidad a plena carga:**

$$KC_c = \frac{5 \times C_m}{6} - \frac{V_m}{3 \times A_3} \quad (22)$$

Donde,

KC_c es la altura del centro de carena de la unidad a plena carga

C_m es el calado de la unidad cargada, comprendido por el calado vacío y el puntal útil

A_3 es el área máxima de flotación

V_m es el volumen sumergido con carga de carena, delimitado por el área mínima de flotación y el calado de la unidad cargada

$$KC = \frac{5 \times (0,25 \text{ m} + 0,75 \text{ m})}{6} - \frac{(0,25 \text{ m} + 0,75 \text{ m}) \times 122,5 \text{ m}^2}{3 \times 122,5 \text{ m}^2}$$

$$KC = 0,5 \text{ m}$$

14.2.1.2. Radio metacéntrico transversal (CMO)

El radio metacéntrico transversal es el radio que describe la curvatura de una embarcación al ocurrir un movimiento inicial de balance de la unidad, con una inclinación (escora) entre 5° y 7° [35]. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

✓ **Unidad estando vacía:**

$$CMO_v = \frac{IT}{V_c} = \frac{\frac{E_2 \times M^3}{12}}{V_c} \quad (23)$$

Donde,

CMO_v es el radio metacéntrico transversal de la unidad estando vacía

IT es el momento de inercia de la superficie de flotación con respecto al eje longitudinal

V_c es el volumen sumergido de la embarcación vacía

E_2 es la eslora mínima de flotación

M es la manga de la embarcación

$$CMO_v = \frac{\frac{13,99 \text{ m} \times (8,75 \text{ m})^3}{12}}{0,25 \text{ m} \times 122,4125 \text{ m}^2}$$

$$CMO_v = 25,521 \text{ m}$$

✓ **Unidad a plena carga:**

$$CMO_c = \frac{IT}{V_m} = \frac{\frac{E_3 \times M^3}{12}}{V_m} \quad (24)$$

Donde,

CMO_c es el radio metacéntrico transversal de la unidad a plena carga

V_m es el volumen sumergido con carga de carena

E_3 es la eslora máxima de flotación

$$CMO_c = \frac{\frac{14 \text{ m} \times (8,75 \text{ m})^3}{12}}{(0,25 \text{ m} + 0,75 \text{ m}) \times 122,4125 \text{ m}^2}$$
$$CMO_c = 6,38 \text{ m}$$

14.2.1.3. Altura del metacentro desde la quilla (KMO)

Al establecer la altura del centro de carena (KC) y el radio metacéntrico transversal (CMO), se procedió a calcular la ubicación del metacentro de la unidad, la cual se encuentra determinada por las distancias mencionadas, es decir:

✓ **Unidad estando vacía:**

$$KMO_v = KC_v + CMO_v \quad (25)$$

$$KMO_v = 0,125 + 25,521$$

$$KMO_v = 25,646 \text{ m}$$

✓ **Unidad a plena carga:**

$$KMO_c = KC_c + CMO_c \quad (26)$$

$$KMO_c = 0,5 + 6,38$$

$$KMO_c = 6,88 \text{ m}$$

14.2.1.4. Altura del centro de gravedad (KG)

El centro de gravedad es el punto de aplicación donde se encuentra concentrado el peso de una embarcación y cada uno de sus componentes [36], ubicado a una altura K_g de la quilla o fondo de la unidad; sin embargo, este punto es desplazado a una altura KG por el peso del agua.

Para calcular la altura del centro de gravedad (KG) se tuvo en cuenta el peso de la unidad (desplazamiento vacío), carga general (desplazamiento útil), con sus respectivos centros de masa (Ver ANEXO B) y momentos verticales (M_v); los cuales se organizaron en la siguiente tabla:

Tabla 14.3 Centro de masa y momento vertical de la unidad

Detalle	Carga (Ton)	$\bar{Y}$ (m)	Mv (Ton-m)
Peso de la unidad	28,953	0,753	21,811
Carga general	91,842	2,941	270,066
DT	120,795	ΣMv	291,876

Fuente: Autor

Al calcular el momento vertical para las dos situaciones planteadas, se procedió a determinar la altura del centro de gravedad sobre la quilla (Kg) y su desplazamiento ocasionado por el peso del agua (KG).

✓ **Unidad estando vacía:**

$$Kg_v = \frac{Mv}{Dv} \quad (27)$$

$$Kg_v = \frac{21,811 \text{ Ton.m}}{28,953 \text{ Ton}}$$

$$Kg_v = 0,753 \text{ m}$$

La altura del centro de gravedad sobre el nivel del agua se obtiene a partir de la diferencia entre la altura del centro de gravedad sobre la quilla de la unidad estando vacía (Kg_v) y el calado vacío, es decir:

$$KG_v = Kg_v - CV \quad (28)$$

$$KG_v = 0,753 \text{ m} - 0,25 \text{ m}$$

$$KG_v = 0,503 \text{ m}$$

✓ **Unidad a plena carga:**

$$Kg_c = \frac{\Sigma Mv}{DT} \quad (29)$$

$$Kg_c = \frac{291,876 \text{ Ton.m}}{120,795 \text{ Ton}}$$

$$Kg_c = 2,416 \text{ m}$$

La altura del centro de gravedad sobre el nivel del agua de la unidad a plena carga se calcula de la misma manera que estando vacía, pero en este caso se tiene en cuenta el calado de la unidad cargada:

$$KG_c = Kg_c - Cm \quad (30)$$

$$KG_c = 2,416 \text{ m} - 1 \text{ m}$$

$$KG_c = 1,416 \text{ m}$$

14.2.1.5. Altura metacéntrica transversal (GMO)

La altura metacéntrica transversal es la distancia entre el metacentro y el centro de gravedad de una unidad flotante [37]; usualmente este valor se usa como referencia para determinar si una embarcación es estable o no (Ver numeral 6.1.4.2). De acuerdo con lo anterior, se calculó la altura metacéntrica transversal por medio de la diferencia entre la altura del metacentro desde la quilla (KMO) y la altura del centro de gravedad (KG) para las dos situaciones planteadas, tal como se evidencia a continuación:

✓ **Unidad estando vacía:**

$$GMO_v = KMO_v - KG_v \quad (31)$$

$$GMO_v = 25,646 \text{ m} - 0,503 \text{ m}$$

$$GMO_v = 25,143 \text{ m}$$

✓ **Unidad a plena carga:**

$$GMO_c = KMO_c - KG_c \quad (32)$$

$$GMO_c = 6,88 \text{ m} - 1,416 \text{ m}$$

$$GMO_c = 5,464 \text{ m}$$

14.2.2. Estabilidad estática longitudinal de la estructura flotante

14.2.2.1. Radio metacéntrico longitudinal (CML)

El radio metacéntrico longitudinal, al igual que el transversal describe la curvatura de una embarcación, con la diferencia que no se realiza al momento de un movimiento inicial de balance, sino de cabeceo, producto del traslado del centro de carena por una inclinación longitudinal [38]. Este radio se puede calcular a partir de:

✓ **Unidad estando vacía:**

$$CML_v = \frac{IL}{V_c} = \frac{\frac{E_2^3 \times M}{12}}{V_c} \quad (33)$$

Donde,

CML_v es el radio metacéntrico longitudinal de la unidad estando vacía

IL es el momento de inercia longitudinal de la superficie de flotación con respecto al eje transversal

V_c es el volumen sumergido de la embarcación vacía

E_2 es la eslora mínima de flotación

M es la manga de la embarcación

$$CML_v = \frac{\frac{(13,99 \text{ m})^3 \times 8,75 \text{ m}}{12}}{0,25 \text{ m} \times 122,4125 \text{ m}^2}$$

$$CML_v = 65,24 \text{ m}$$

✓ **Unidad a plena carga:**

$$CML_c = \frac{IL}{V_c} = \frac{\frac{E_3^3 \times M}{12}}{V_c} \quad (34)$$

Donde,

CML_c es el radio metacéntrico longitudinal de la unidad a plena carga

V_c es el volumen sumergido con carga de carena

E_3 es la eslora máxima de flotación

$$CML_c = \frac{\frac{(14 \text{ m})^3 \times 8,75 \text{ m}}{12}}{(0,25 \text{ m} + 0,75 \text{ m}) \times 122,4125 \text{ m}^2}$$

$$CML_c = 16,333 \text{ m}$$

14.2.2.2. Altura metacéntrica longitudinal (GML)

La altura metacéntrica longitudinal tiene un valor que se aproxima al radio metacéntrico longitudinal (CML), ya que la distancia entre el centro de gravedad (KG) y el centro de carena (KC) de una embarcación es muy pequeña en relación con el CML; por lo cual, se tiende a considerar que la altura metacéntrica longitudinal siempre es positiva y que su análisis no es necesario; sin embargo, su cálculo es importante, dado que permite analizar el asiento y la alteración del traslado de un peso en una unidad flotante [39]. Por lo tanto, este valor para las dos situaciones planteadas, se determinó de la siguiente manera:

✓ **Unidad estando vacía:**

$$GML_v = KC_v + CML_v - KG_v \quad (35)$$

$$GML_v = 0,125 \text{ m} + 65,24 \text{ m} - 0,503 \text{ m}$$

$$GML_v = 64,862 \text{ m}$$

✓ **Unidad a plena carga:**

$$GML_c = KC_c + CML_c - KG_c \quad (36)$$

$$GML_c = 0,5 \text{ m} + 16,333 \text{ m} - 1,416 \text{ m}$$

$$GML_c = 15,417 \text{ m}$$

15. PROPUESTA DEL SISTEMA DE SERVICIOS BÁSICOS

La vivienda flotante no solo garantizará la seguridad de sus habitantes durante un evento de inundación, también proporcionará los servicios básicos durante dicho periodo, por medio de la implementación de sistemas alternativos, que permiten el suministro de energía eléctrica, agua potable y el tratamiento de aguas residuales cuando se incrementa el nivel de agua en la zona de estudio.

15.1. SUMINISTRO DE ENERGÍA

Cada vez que se presenta un evento de inundación el suministro de energía eléctrica en la zona afectada se puede ver interrumpido y en algunas ocasiones se producen cortocircuitos en aparatos o líneas eléctricas, poniendo en riesgo la vida de las personas. Por lo cual es necesario considerar la implementación de otro tipo de energía, como es el caso de la energía solar; para la cual se requiere principalmente de paneles fotovoltaicos que se encargan de transformar la radiación solar en energía eléctrica [40].

En Colombia la radiación solar es de aproximadamente 4,5 KWh/m²/día [41] y en Puerto López de acuerdo con los mapas realizados por el IDEAM en el 2014, es de 4,5 a 5 KWh/m²/día [42] con un promedio de 5 a 6 horas de sol al día [43]; la cual puede ser transformada en energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico [44], dicho sistema está compuesto por:

- **Subsistema de generación:** integrado por paneles fotovoltaicos, que convierten la energía solar en eléctrica (energía continua) para otorgar la potencia requerida a toda la instalación del sistema. [45]
- **Subsistema de almacenamiento:** conformado por una batería, que se encarga de brindar energía a todo el sistema durante los intervalos con poca luminosidad o sin luz solar. [45]
- **Subsistema de control:** monitorea y garantiza el correcto funcionamiento de todo el sistema fotovoltaico; formado por un regulador que protege a los acumuladores (baterías) ante posibles sobrecargas, un inversor que transforma la corriente continua producida por el panel en corriente alterna, y un sistema de protección para el consumo. [45]

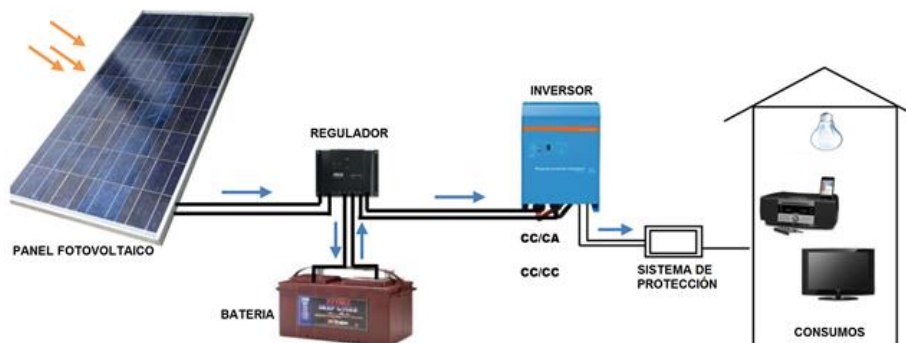


Figura 15.1 Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada
Fuente: García, 2016

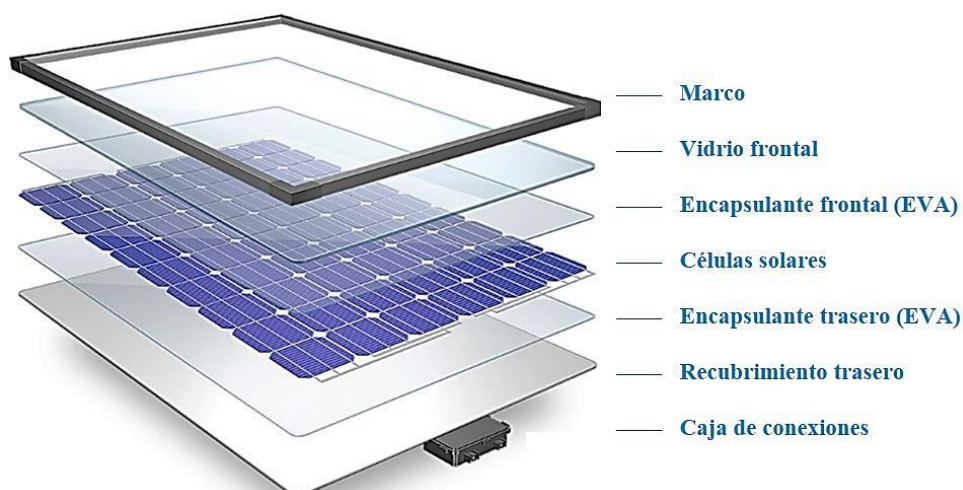


Figura 15.2 Estructura de un panel fotovoltaico
Fuente: Mártil, 2017

La potencia del sistema fotovoltaico depende principalmente de la tecnología empleada para la construcción de las celdas o células solares del panel fotovoltaico (Ver Figura 15.2); las más empleadas son:

- **Silicio amorfo:** este tipo de celdas son las más económicas, su costo oscila entre 1,8 y 2,1 euros por vatio pico (€/Wp) y tienen un rendimiento promedio del 4 al 11%; sin embargo, su eficiencia se reduce a largo plazo, son susceptibles a deterioros iniciales y requieren de un mayor coste de materiales y energía. [44]
- **Silicio monocristalino (m-Si):** su fabricación es más compleja y tienen un costo más elevado que las celdas de silicio amorfo (más de 2,6 €/Wp), pero su rendimiento es de 15 a 21%. Esta tecnología se puede utilizar en paneles para la región Amazónica y Pacífica, dado que con la radiación solar que poseen se puede obtener la potencia instalada. [44]
- **Silicio policristalino (p-Si):** las celdas solares construidas con esta tecnología tienen un rendimiento del 16% y un costo de 2,2 a 2,6 €/Wp; sin embargo, al ser modulares permiten una mejor ocupación del espacio disponible para su instalación. Las celdas de silicio policristalino se pueden usar en las regiones Andina y Orinoquía, ya que la potencia del sistema se alcanza fácilmente con ciertos rangos de radiación. [44]

15.2. SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

Para evitar que la tubería de agua se rompa cuando la vivienda flotante se eleve, es necesario emplear otro material para este tipo de elementos que facilitan la conexión de la vivienda con la acometida de agua potable, como lo son las tuberías reticuladas de polietileno (PEX).

Este tipo de tuberías tienen gran flexibilidad debido a su proceso de fabricación, lo que les permite girar esquinas de 90° sin emplear ningún tipo de conexión (Ver

Figura 15.3); sus dimensiones varían de 1/4" hasta 32" de diámetro, además pueden ser instaladas con el mismo procedimiento de diseño de una tubería convencional o utilizar los diseños entregados por el fabricante. [46]



Figura 15.3 Tubería PEX
Fuente: TODO FERRETERÍA, 2018

La variedad de las tuberías PEX depende principalmente de la reacción química que se lleva a cabo en el proceso de fabricación del polietileno reticulado, comúnmente llamado enlace cruzado (cross-linked), las tuberías obtenidas con este proceso que son más empleadas en las instalaciones hidráulicas en proyectos residenciales, comerciales o industriales son: [46]

- **Tubería PEX-A:** su fabricación se realiza por medio del método del peróxido o método Engels, donde se produce un enlace mayor al 70% entre las cadenas de polímero; lo cual le otorga a la tubería una mayor resistencia y flexibilidad. [46]
- **Tubería PEX-B:** fabricado por el método del silano o curado por humedad, donde el enlace producido es mayor al 65%, por lo cual, es menos flexible que la PEX-A, pero más resistente a la presión. [46]
- **Tubería PEX-C:** producto del método de radiación, el cual consiste en exponer a la tubería a una irradiación electrónica, donde se dividen los enlaces existentes de las cadenas de polímero [47]; el enlace obtenido es mayor al 60% y sus propiedades son similares a la PEX-B, sin embargo, su flexibilidad es más baja. [46]

15.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la vivienda flotante fue necesario consultar el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, para establecer el tipo de sistema que se iba a emplear en la vivienda.

Los principales sistemas para el tratamiento de aguas residuales para viviendas individuales o aisladas que describe el reglamento son: trampas de grasa, tanque

séptico, campo de infiltración, humedades artificiales, filtros intermitentes y sumergidos aireados, lagunas de oxidación y tanques Imhoff [48]. Es importante destacar que, aunque el reglamento propone diferentes sistemas solo se analizó uno de ellos, dado que la selección se encuentra limitada al espaciamiento de las bodegas de almacenamiento, costos de construcción y mantenimiento; dicho sistema es:

Tanque séptico: es un prototipo de planta de tratamiento que posee por separado un tratamiento preliminar, primario y secundario de las aguas residuales [49], este tanque prefabricado (polietileno o fibra de vidrio) está equipado con un filtro anaerobio, que permite la sedimentación y eliminación de sólidos, los cuales se remueven y se descargan periódicamente en un sistema de postratamiento [48].

Durante su funcionamiento se realiza un proceso físico y uno biológico, en el primero se separan los sólidos sedimentables (lodos) que existan en las aguas residuales de los flotantes (aceites, grasas) a través de la acción de la gravedad, la capa intermedia entre lodos y flotantes compone al agua clarificada o tratada parcialmente; el segundo proceso tiene lugar en el fondo del tanque, en donde la fracción orgánica de sólidos acumulada experimenta una degradación anaerobia reduciendo así su volumen y produciendo biogás (metano, dióxido de carbono y compuestos con azufre) [49].

Para mejorar el proceso de clarificación de agua, se recomienda instalar un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), el cual es una cámara integrada al tanque séptico, en donde el agua parcialmente tratada pasa de manera ascendente por un material filtrante (estructura plástica o grava) hacia una disposición final (Ver Figura 15.4).

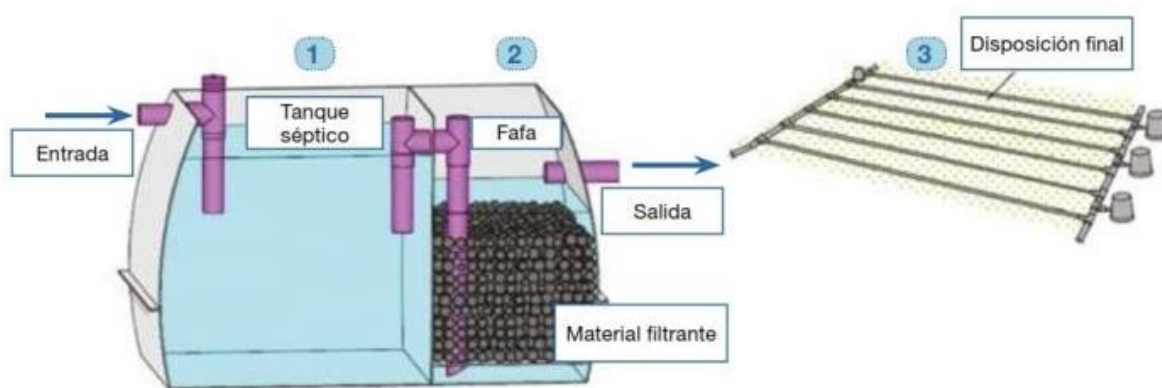


Figura 15.4 Tanque séptico integrado

Fuente: Depuragua, s.f.

El filtro logra reducir entre un 70% y 80% de DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno) de la remoción conseguida anteriormente en el tanque séptico [49], su consumo de energía es bajo; además presenta bajos costos de instalación y mantenimiento.

16. PRESUPUESTO DE LA VIVIENDA FLOTANTE

El presupuesto permite la estimación del costo de una obra a construir, tiene en cuenta cantidades de obra, análisis de precios unitarios de las actividades constructivas del proyecto, costos directos (materiales, equipos, mano de obra y transporte), y costos indirectos (gastos administrativos, utilidades e imprevistos).

A partir de los planos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones técnicas de la vivienda, se calculó las cantidades de obra y el análisis de precios unitarios (APU) para cada actividad propuesta para la ejecución de la obra por unidad de medida; además, para la realización de los APU se tuvo en cuenta información de bases de datos de los catálogos de Construdata y Teckne, en sus versiones más recientes.

Adicionalmente, a cada uno de los APU se les calculó los costos por administración (15%), imprevistos (5%), y utilidad (5%), para determinar cada costo total por actividad de construcción. La Tabla 16.1 presenta un resumen general del presupuesto de cada actividad general por costo unitario.

Tabla 16.1 Resumen del presupuesto de cada actividad general por costo unitario

ITEM	ACTIVIDAD	VALOR UNITARIO
1	Preliminares	\$ 37.831
2	Rellenos	\$ 59.552
3	Excavación	\$ 54.897
4	Cimentación	\$ 1.174.278
5	Estructura Metálica	\$ 340.393
6	Estructura en Concreto	\$ 144.161
7	Instalaciones Sanitarias	\$ 3.895.577
8	Aparatos Sanitarios	\$ 2.179.826
9	Instalaciones Eléctricas	\$ 13.579.430
10	Instalaciones Hidráulicas	\$ 323.374
11	Pisos	\$ 117.937
12	Mampostería	\$ 78.315
13	Cubierta	\$ 50.376
14	Cielo Raso	\$ 68.412
15	Pañetes	\$ 19.192
16	Carpintería en Madera	\$ 270.967
17	Enchapes y Accesorios	\$ 225.546
18	Vidrios	\$ 42.769
19	Aseo	\$ 3.550

FUENTE: AUTOR

NOTA: El presupuesto y análisis de precios unitario de cada una de las actividades del proyecto, se encuentran detallados en el ANEXO D.

17. ANÁLISIS DE RESULTADOS

17.1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA HABITABLE

Con los datos obtenidos por medio de la modelación de la vivienda en el software ETABS, se procedió a realizar las diferentes verificaciones para determinar que las secciones de los elementos cumplieran con las solicitaciones de la estructura.

17.1.1. CHEQUEO DE DERIVAS

Los desplazamientos horizontales que, por efectos de un sismo suceden entre dos puntos en niveles continuos de una estructura se les conoce como derivas, los cuales pueden generar deformación inelástica y daños de los elementos estructurales y no estructurales, así como dar un efecto de estabilidad global en la estructura o producir pánico en las personas que habitan la edificación.

Para evitar que se presenten dichos efectos, es necesario comprobar que los desplazamientos no excedan los límites establecidos por la NSR-10, los cuales están especificados en la Tabla 17.1.

Tabla 17.1 Derivas máximas como porcentaje

Estructuras	Deriva Máxima
Concreto reforzado, metálicas, de madera y de mampostería	$1,0\% * (\Delta_{max}^i \leq 0,010h_{pi})$
Mampostería	$0,5\% * (\Delta_{max}^i \leq 0,005h_{pi})$

Fuente: NSR-10 Capítulo A6

En donde la deriva máxima se puede calcular a partir de la diferencia entre los desplazamientos horizontales totales máximos del punto en el piso i y los de un punto localizado en el mismo eje vertical en el piso $i-1$ [31], mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta_{max}^i = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (\delta_{tot,j}^i - \delta_{tot,j}^{i-1})^2} \quad (37)$$

Considerando lo anterior y los resultados de la modelación realizada en el software ETABS, se identificaron los desplazamientos (derivas) generados en la vivienda y se verificó que se cumpliera con lo establecido en la NSR-10 (Tabla 17.2).

Tabla 17.2 Registro de derivas obtenidas en el software ETABS

Story Text	U1 -SX m	U2 - SY m	Deriva m	Límite de Deriva m	Criterio
Story1	0,0001431	0,0000136	0,0001437	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001417	0,0000251	0,0001439	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000193	0,0000253	0,0000318	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000177	0,0000128	0,0000219	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001431	0,0000008	0,0001431	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000163	0,0000007	0,0000163	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001413	0,0000135	0,0001419	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000158	0,0000138	0,0000210	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001400	0,0000288	0,0001429	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000157	0,0000284	0,0000325	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000280	0,0000258	0,0000381	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000297	0,0000127	0,0000323	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001459	0,0000125	0,0001464	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001475	0,0000258	0,0001497	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001431	0,0000012	0,0001431	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001409	0,0000135	0,0001415	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0001397	0,0000284	0,0001426	0,0275	CUMPLE
Story1	0,0000505	0,0000284	0,0000579	0,0275	CUMPLE

Fuente: Autor

17.1.2. DISEÑO DE VIGAS

Al chequear cada una de las derivas, se procedió a realizar el diseño de las vigas, el procedimiento efectuado se especifica a continuación:

17.2.2.1. Diseño a tensión

La NSR-10 establece que la resistencia de diseño de un miembro a tensión es el menor valor entre los estados límites de fluencia por tensión sobre el área bruta y rotura por tensión sobre el área neta; además, la relación de esbeltez del miembro no debe exceder de 300 [50].

$$P_u \leq \phi_t P_n \quad (38) \quad \frac{L_y}{R} < 300 \quad (39)$$

Donde,

$\phi_t P_n$ es la resistencia de diseño de un miembro a tensión

L_y es la longitud del miembro

R es el radio de giro mínimo del miembro

Para el cálculo de la fluencia en tracción en la sección bruta se plantean dos situaciones:

- Para fluencia en tracción en la sección bruta, con $\phi_t = 0,90$:

$$P_n = F_y A_g \quad (40)$$

- Para fractura en tracción en la sección bruta, con $\phi_t = 0,75$:

$$P_n = F_u A_e \quad (41)$$

Donde,

A_e es el área neta efectiva, mm²

A_g es el área bruta efectiva, mm²

F_y es la resistencia a la fluencia del acero utilizado, MPa

F_u es la resistencia última del acero utilizado, MPa

Para miembros sin perforaciones y conectados completamente por soldadura, el área neta efectiva a tensión se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_e = A_n U \quad (42)$$

Donde,

A_n es el área neta del miembro, mm²

U es el factor de reducción por rezago de cortante

En base a lo mencionado y considerando los datos registrados en la Tabla 17.3, se realizó el diseño a tensión de las vigas (PTE 300x300x10).

Tabla 17.3 Datos para realizar el diseño a tensión

C. Muerta kN	C. Viva kN	L_y m	A_g cm ²	R cm	F_y MPa	Φ_t	F_u MPa	Φ_t	U
197,045	37,059	3,73	113,42	11,77	345	0,9	428	0,75	1

Fuente: Autor

Asimismo, se llevaron a cabo los siguientes cálculos:

- Considerando las combinaciones necesarias de carga:

$$P_u = 1,4D = (1,4)(197,045 \text{ KN}) = 275,863 \text{ KN}$$

$$P_u = 1,2D + 1,6L = (1,2)(197,045 \text{ KN}) + (1,6)(37,059 \text{ KN}) = 295,748 \text{ KN}$$

- Fluencia de la sección total:

$$P_n = F_y A_g = (345 \text{ MPa})(0,011342 \text{ m}^2) = 3912,99 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_n = (0,9)(3912,99 \text{ KN}) = 3521,691 \text{ KN} \geq 295,748 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

➤ Resistencia de fractura a la tensión:

De acuerdo al numeral F.2.2.4.3.2 de la NSR-10, para miembros sin perforaciones, el área neta se toma igual al área bruta del elemento, por lo tanto:

$$A_n = A_g = 113,42 \text{ cm}^2$$

$$A_e = A_n U = (113,42 \text{ cm}^2)(1) = 113,42 \text{ cm}^2$$

$$P_n = F_u A_e = (428 \text{ MPa})(0,011342 \text{ m}^2) = 4854,376 \text{ KN}$$

$$\phi_t P_n = (0,75)(4854,376 \text{ KN}) = 3640,782 \text{ KN} \geq 295,748 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

➤ Relación de esbeltez:

$$\frac{L_y}{R} = \frac{3,73}{0,1177} = 31,691 < 300 \quad \text{OK}$$

17.2.2.2. Diseño a flexión

Para propósitos de diseño se identificó si el elemento tiene secciones compactas, no compactas o esbeltas, a partir de los valores límites de esbeltez para miembros a flexión presentados en la Figura 17.1; el chequeo de esbeltez se encuentra evidenciado en la Tabla 17.4.

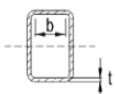
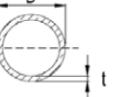
Caso	Descripción del Elemento	Relación Ancho a Espesor	Valores límite de la relación ancho/espesor		Ejemplos
Elementos Atiesados	17 Aletas de perfiles tubulares estructurales (PTE) y perfiles en cajón, de sección rectangular y espesor uniforme	b/t	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
	18 Cubreplacas de aleta y platinas de diafragma entre líneas de conectores o soldaduras	b/t	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
	19 Almas de perfiles tubulares estructurales (PTE) y perfiles en cajón, de sección rectangular	b/t	$2.42\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	
	20 Perfiles tubulares estructurales (PTE) de sección circular	D/t	$0.07E/F_y$	$0.31E/F_y$	

Figura 17.1 Valores límites de esbeltez para miembros de acero sometidos a flexión

Fuente: NSR-10 – Tabla F2.2.4-1b

Tabla 17.4 Chequeo de esbeltez de los elementos de la sección

Miembros rigidizados (aleta)		Miembros rigidizados (alma)	
λ_f	25,806	λ_w	25,806
λ_{pf}	26,955	λ_{pw}	33,694
λ_{rf}	58,242	λ_{rw}	137,181
Chequeo	Compacta	Chequeo	Compacta

Fuente: Autor

Partiendo de lo descrito anteriormente y del numeral F.2.6.7 de la NSR-10, se verificó la resistencia nominal a la flexión M_n que soportará la viga estudiada, la cual será el menor valor obtenido entre la plastificación de la sección (momento plástico), los estados límites de pandeo local de la aleta y del alma [50], sin embargo, los dos últimos estados límites no se aplicaron debido a que la sección es compacta en el alma y en la aleta.

➤ **Plastificación de la sección** (momento plástico)

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (43)$$

Donde,

Z es el módulo de sección plástico sobre el eje de flexión

$$M_n = M_p = \left(3522 \frac{kg}{cm^2} \right) (1223,86 cm^3) = 4310434,92 kg \cdot cm$$

$$M_p = 431,043 KN \cdot m$$

Por lo tanto, el valor de la resistencia nominal a la flexión M_n va a ser igual al valor del momento plástico de la sección.

$$\phi_b M_n = (0,9)(431,043 KN \cdot m) = 387,939 KN \cdot m$$

➤ **Verificación de la fluencia**

Para comprobar que la viga sea capaz de resistir las solicitaciones de la estructura, el momento máximo debe ser menor o igual a la resistencia de diseño a flexión.

$$M_u \leq \phi_b M_n \quad (44)$$

$$15,531 KN \cdot m \leq 387,939 KN \cdot m \quad \text{OK}$$

Nota: El momento máximo de la viga, se determinó por medio del software ETABS.

17.2.2.3. Diseño a cortante

La NSR-10 establece que la resistencia nominal a cortante que debe soportar una viga PTE se encuentra determinada por la ecuación:

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (45)$$

Donde,

V_n es la resistencia nominal a cortante

F_y es la resistencia a la fluencia del acero utilizado

A_w es el área del alma, producto de dos veces el ancho de la cara que resiste la fuerza cortante por el espesor del alma ($2ht$)

C_v es el coeficiente de cortante del alma.

De acuerdo al numeral F.2.7.2.1-b, el coeficiente de cortante del alma C_v para perfiles tubulares estructurales se determina a partir de las siguientes restricciones:

I. Para $h/t_w \leq 1,10 \sqrt{k_v E / F_y} \rightarrow C_v = 1,00$

II. Para $1,10 \sqrt{k_v E / F_y} < h/t_w \leq 1,37 \sqrt{k_v E / F_y} \rightarrow C_v = \frac{1,10 \sqrt{k_v E / F_y}}{h/t_w}$

III. Para $h/t_w > 1,37 \sqrt{k_v E / F_y} \rightarrow C_v = \frac{1,51 k_v E}{(h/t_w)^2 F_y}$

Donde

K_v es el coeficiente de pandeo del alma (para perfiles estructurales de sección rectangular, tiene un valor de 5,00) [50]

A partir de lo anterior, se determinó el valor del coeficiente de cortante del alma C_v

$$\frac{h}{t} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \quad (46)$$
$$\frac{240 \text{ mm}}{0,93(10\text{mm})} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5(2040000 \text{ kg/cm}^2)}{3522 \text{ kg/cm}^2}}$$
$$25,806 \leq 59,197$$

Teniendo en cuenta la restricción I del numeral F.2.7.2.1-b de la NSR-10, el valor del coeficiente de cortante C_v será 1; después de establecer este coeficiente, se verificó la resistencia nominal a cortante V_n que soportará la viga estudiada.

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (47)$$

$$V_n = 0,6(3522 \text{ kg/cm}^2)(2)(24 \text{ cm})(0,93)(1\text{cm})(1)$$

$$V_n = 94333,248 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n = 0,9 (94333,248 \text{ kg}) = 84899,92 \text{ kg}$$

$$\phi_v V_n = 848,999 \text{ KN}$$

➤ Verificación de la fluencia

Para comprobar que la viga sea capaz de resistir las solicitaciones de la estructura, el valor de la cortante máxima debe ser menor o igual a la resistencia de diseño a cortante.

$$V_u \leq \phi_v V_n \quad (48)$$

$$24,880 \text{ KN} \leq 848,999 \text{ KN} \quad \mathbf{OK}$$

Nota: La cortante máxima de la viga, se determinó por medio del software ETABS.

17.1.3. DISEÑO DE COLUMNAS

17.2.3.1. Diseño a compresión

Las columnas son elementos que resisten fuerzas a compresión axial sobre su eje centroidal longitudinal, las cuales se clasifican en secciones con miembros esbeltos y sin miembros esbeltos, esto de acuerdo con los valores límite de la relación entre el ancho y espesor del elemento, especificados en la Tabla 17.5.

Tabla 17.5 Valores límites de la Relación Ancho a Espesor para Elementos de Miembros a Compresión Axial

Caso	Descripción del Elemento	Relación Ancho a Espesor	Valores límite de la relación ancho/espesor (λ_r)
6	Paredes de perfiles tubulares estructurales (PTE) y perfiles en cajón, de sección rectangular y espesor uniforme	b/t	$1,4\sqrt{E/F_y}$

Fuente: NSR-10 – Tabla F.2.2.4-1a

➤ Chequeo de esbeltez:

$$\frac{b}{t} \leq 1,4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (49)$$

$$\frac{240\text{mm}}{0,93(10\text{mm})} \leq 1,4 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{3522 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$25,806 \leq 33,694$$

La sección se clasificó como una sección sin elementos esbeltos, dado que la relación entre el ancho y espesor no excedió el valor límite λ_r .

Además, según lo establecido en el numeral F.2.6.1 de la NSR-10, se verificó la resistencia nominal a compresión P_n que soportará la columna estudiada, la cual será el menor valor obtenido entre los estados límites de pandeo por: flexión, torsión y flexo-torsión [50], sin embargo, los dos últimos estados límites no se aplicaron debido a que la sección no presenta elementos esbeltos.

➤ Pandeo por flexión de sección sin miembros esbeltos: la resistencia nominal a compresión se tomará igual a:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (50)$$

Donde,

P_n es la resistencia nominal a compresión

F_{cr} es el esfuerzo de pandeo por flexión.

A_g es el área bruta efectiva de la sección

Con la finalidad de calcular el valor del esfuerzo de pandeo por flexión se tuvo en cuenta las siguientes restricciones:

- ✓ Cuando $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ó $F_e \geq 0,44F_y$ $\rightarrow F_{cr} = [0,658^{F_y/F_e}] F_y$
- ✓ Cuando $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ó $F_e < 0,44F_y$ $\rightarrow F_{cr} = 0,877 F_e$

Donde,

F_e es el esfuerzo crítico de pandeo elástico.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (51)$$

KL/r es la relación de esbeltez de la columna, no debe exceder de 200.

En la relación de esbeltez de la columna se debe tener en cuenta el factor de longitud efectiva (K), la longitud no arriostrada del elemento (L), y el radio de giro (r) [50]. El valor de K depende la restricción rotacional del elemento en sus extremos (Figura 17.2).

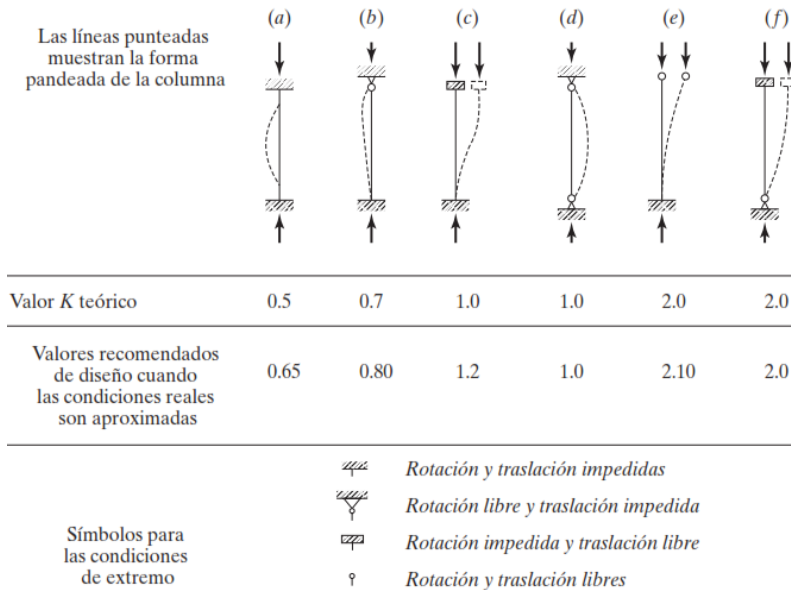


Figura 17.2 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K
Fuente: American Institute of Steel Construction, 2010

En razón a lo señalado, se determinó el valor esfuerzo de pandeo por flexión F_{cr}

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (52)$$

$$\frac{0,8 (250 \text{ cm})}{11,77 \text{ cm}} \leq 4,71 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{3522 \text{ kg/cm}^2}}$$
$$16,992 \leq 113,355$$

Dado que se cumple la relación anteriormente mencionada, el valor de F_{cr} se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$F_{cr} = [0,658^{F_y/F_e}] F_y \quad (53)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 (2040000 \text{ kg/cm}^2)}{(16,992)^2} = 69730,511 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = [0,658^{3522/69730,511}] (3522 \text{ kg/cm}^2)$$

$$F_{cr} = 3448,325 \text{ kg/cm}^2$$

En base a lo anterior se tiene que la resistencia de diseño a compresión del elemento será igual a:

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (54)$$

$$P_n = (3448,325 \text{ kg/cm}^2) (113,42 \text{ cm}^2) = 391109,004 \text{ kg}$$

$$P_n = 3911,09 \text{ KN}$$

$$\phi_c P_n = 0,9 (3911,09 \text{ KN}) = 3519,981 \text{ KN}$$

17.1.4. DISEÑO DE CONEXIONES

El tipo de conexión que se eligió como mejor alternativa para la vivienda fue la de conexiones con soldadura de filete, dado que permite el ahorro de tiempo, fabricación y montaje de la obra, reduce costos, presenta un área de mayor aplicación y facilita la unión de elementos.

El cálculo de la resistencia de las conexiones soldadas tiene en cuenta los estados límites de rotura por tensión y por cortante del material base, y la resistencia del metal de la soldadura [50], los cuales se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

- Para el material base:

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (55)$$

- Para el metal de la soldadura:

$$R_n = F_{nw} A_{we} \quad (56)$$

Donde,

R_n es la resistencia nominal de una soldadura

F_{nBW} es la resistencia nominal por unidad de área para el metal base

F_{nw} es la resistencia nominal por unidad de área para el metal de la soldadura

A_{BM} es el área de la sección transversal del metal base

A_{we} es el área efectiva de la soldadura

En la Figura 17.3 se establecen los valores a considerar en el cálculo de la resistencia de diseño de juntas soldadas.

Tipo de Carga y Dirección Relativa al Eje de la Soldadura	Metal en consideración	ϕ	Resistencia Nominal por unidad de área (F_{nBM} o F_{nw}) MPa	Área Efectiva (A_{BM} o A_{we}) mm ²	Nivel Requerido de Resistencia del Metal de aporte ^{(a)(b)}
SOLDADURAS DE FILETE INCLUYENDO FILETES EN AGUJEROS Y RANURAS Y JUNTAS OBLICUAS EN T					
Cortante	Metal Base	Controlada por F.2.10.4			Se permite el uso de metal de aporte con un nivel de resistencia menor o igual que el del metal de aporte compatible.
	Soldadura	$\phi = 0.75$	$0.60F_{EXX}^{(d)}$	Véase F.2.10.2.2.1	
Tensión o Compresión paralela al eje de la soldadura	La tensión o compresión que actúa en las partes conectadas con dirección paralela a la soldadura que las une no requiere ser considerada en el diseño de dicha soldadura				

Figura 17.3 Resistencia de diseño de juntas soldadas

Fuente: NSR-10 – Tabla F.2.10.2-5

Considerando lo descrito en el numeral F.2.10.4 de la NSR-10, se verificó la resistencia por cortante del material base, la cual será el menor valor obtenido entre la fluencia y rotura por cortante:

- **Resistencia a la fluencia por cortante:**

$$R_n = 0,6 F_y A_{gv} \quad (57)$$

$$R_n = 0,6(3522 \text{ kg/cm}^2)(2)(24\text{cm})(0,93)(1\text{cm}) = 94333,25 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 1,0(94333,25 \text{ kg}) = 94333,25 \text{ kg} = 943,332 \text{ KN}$$

- **Resistencia a la rotura por cortante:**

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv} \quad (58)$$

$$R_n = 0,6(4368 \text{ kg/cm}^2)(2)(24\text{cm})(0,93)(1\text{cm}) = 116992,5 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = 0,75(116992,5 \text{ kg}) = 87744,38 \text{ kg} = 877,444 \text{ KN} \leftarrow R_{ige}$$

La capacidad a cortante del elemento está controlada por la rotura.

Para determinar la resistencia del metal de la soldadura, se empleó electrodos E7018 con F_{Exx} igual a 70 Ksi, empleado para aceros con F_y menores a 60 Ksi; además se tuvo en cuenta que el espesor de la parte más delgada a unir del elemento es de 10 mm, por lo tanto, el tamaño mínimo de la soldadura de filete va a ser de 5 mm (Tabla 17.6).

Tabla 17.6 Tamaño mínimo de soldaduras de filete

Espesor de la parte más delgada a unir (mm)	Mínimo Espesor Efectivo de Garganta (mm)
$\leq 6,4$	3
6,4 – 12,7	5
12,7 – 19,1	6
$>19,1$	8

Fuente: NSR-10 – Tabla F.2.10.2-4

Así mismo se consideró que la longitud de la soldadura va ser equivalente a la longitud del alma en el sentido transversal y a la dimensión de la aleta en sentido longitudinal, por lo tanto, la resistencia nominal total de la conexión debe ser igual al mayor de los valores que se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$R_n = R_{nwl} + R_{nwt} \quad (59)$$

$$R_n = 0,85R_{nwl} + 1,5R_{nwt} \quad (60)$$

Donde,

R_{nwl} es la resistencia nominal de la soldadura de filete longitudinal

R_{nwt} es la resistencia nominal de la soldadura de filete transversal

Con lo anterior se dedujo la resistencia de la soldadura:

$$\text{Espesor de la garganta} = [\sin(45)(0,5 \text{ cm})] = 0,353 \text{ cm}$$

✓ Para soldadura longitudinal:

$$R_{nwl} = \left[0,6 \left(70000 \frac{\text{kg}}{14,23 \text{ cm}^2} \right) \right] [2(30 \text{ cm})(0,353)] = 62611,001 \text{ kg}$$

✓ Para soldadura transversal:

$$R_{nwt} = \left[0,6 \left(70000 \frac{\text{kg}}{14,23 \text{ cm}^2} \right) \right] [2(30 \text{ cm})(0,353 \text{ cm})] = 62611,001 \text{ kg}$$

Aplicando las ecuaciones (59) y (60):

$$R_n = 62611,001 \text{ kg} + 62611,001 \text{ kg} = 125222,002 \text{ kg}$$

$$R_n = 0,85(62611,001 \text{ kg}) + 1,5(62611,001 \text{ kg}) = 147135,852 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la resistencia de diseño de la soldadura es de:

$$\phi R_n = (0,75)(146905,55 \text{ kg}) = 110351,889 \text{ kg} = 1103,519 \text{ KN}$$

17.1.5. CONEXIÓN ENTRE LA ESTRUCTURA FLOTANTE Y HABITABLE

Para garantizar la unión entre la estructura habitable y flotante, se llevó a cabo el diseño por aplastamiento de una conexión empernada, para lo cual se empleó una platina de 550 mm X 550 mm X 13 mm; sus especificaciones se encuentran detalladas en la Tabla 17.7.

Tabla 17.7 Especificaciones de la Platina 550 X 550 X 13

Especificaciones – PL 550 X 550 X 13	
Ag (m ²)	0.00715
t (mm)	13
Fy (MPa)	345
Fu (MPa)	428

Fuente: Autor

Con los datos de la tabla anterior, se procedió a determinar la resistencia de diseño de la platina, utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi P_n = \phi A_g F_y \quad (61)$$

Donde,

ϕP_n es la resistencia de diseño de la platina

ϕ es el factor de resistencia, igual 0.9

A_g es el área bruta del elemento

F_y es el esfuerzo de fluencia mínimo del acero usado

En base a lo anterior y teniendo en cuenta las especificaciones de la platina (Ver Tabla 17.7), se calculó la resistencia de diseño de dicho elemento, para lo cual se obtuvo:

$$\phi P_n = 0,9 \times 0.00715 \text{ m}^2 \times \left(345 \text{ MPa} \times \frac{1000 \text{ KPa}}{1 \text{ MPa}} \right)$$

$$\phi P_n = 2220,075 \text{ KN}$$

Posteriormente, se determinó la resistencia de diseño a tensión y cortante de un perno A490 de 1 in (25,4 mm), la cual según la NSR-10 se obtiene por medio de los estados límites de rotura por tensión y cortante [50], con la siguiente ecuación:

$$\phi R_n = \phi F_n A_b \quad (62)$$

Donde,

ϕR_n es la resistencia de diseño del perno

ϕ es el factor de resistencia, igual 0.75

A_b es el área nominal del perno

F_n es la resistencia nominal a tensión (F_{nt}) o a cortante (F_{nv}), esta depende del tipo de perno que se desee emplear, dichos valores se encuentran descritos en la tabla F.2.10.3-2 de la NSR-10 (Ver Tabla 17.8)

Tabla 17.8 Resistencia nominal para pernos y piezas roscadas

Descripción de los conectores	Resistencia nominal a tensión F_{nt} (MPa)	Resistencia nominal a cortante en conexiones tipo aplastamiento F_{nv} (MPa)
Pernos A307	310	188
Pernos Grupo A (tipo A325) con roscas incluidas en los planos de corte	620	372
Pernos Grupo A (tipo A325) cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	620	457
Pernos Grupo B (tipo A490) con roscas incluidas en los planos de corte	780	457
Pernos Grupo B (tipo A490) cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	780	579
Piezas roscadas que satisfacen los requisitos del numeral F.2.1.3.4, con roscas incluidas en los planos de corte	0.75*Fu	0.45*Fu
Piezas roscadas que satisfacen los requisitos del numeral F.2.1.3.4, cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	0.75*Fu	0.56*Fu

Fuente: NSR-10, F.2.10.3-2

Teniendo en cuenta la ecuación (62) y que los pernos que se van a emplear para conectar las dos estructuras pertenecen al Grupo B con las roscas incluidas en los planos de corte (Ver Tabla 17.8), se calculó la resistencia de diseño a tensión y cortante de un perno de 1 in.

➤ **Resistencia de diseño a tensión**

$$\begin{aligned}\phi T_n &= \phi F_{nt} A_b \\ \phi T_n &= 0,75 \times (780 \times 10^3 \text{ KN}) \times \left(\frac{\pi}{4} \times (0,0254 \text{ m})^2 \right) \\ \phi T_n &= 296,42 \text{ KN}\end{aligned}$$

➤ **Resistencia de diseño a cortante**

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi F_{nv} A_b \\ \phi V_n &= 2 \times 0,9 \times (457 \times 10^3 \text{ KN}) \times \left(\frac{\pi}{4} \times (0,0254 \text{ m})^2 \right) \\ \phi V_n &= 347,35 \text{ KN}\end{aligned}$$

Al calcular la resistencia de diseño de la platina y el perno de 1 in, se estableció la cantidad de pernos necesaria para transmitir la carga ejercida en tensión y en doble corte

➤ **Cantidad de pernos en tensión:**

$$n = \frac{\phi Pn}{\phi Tn} \rightarrow n = \frac{2220,075 \text{ KN}}{296,42 \text{ KN}} \rightarrow n = 7,49 \cong 8$$

➤ **Cantidad de pernos en doble corte:**

$$n = \frac{\phi Pn}{\phi Vn} \rightarrow n = \frac{2220,075 \text{ KN}}{347,35 \text{ KN}} \rightarrow n = 6,39 \cong 7$$

Dado que, para transmitir la carga en tensión se requiere un perno de más que en cortante, se emplearon 8 pernos de 1 in (25,4 mm) con una perforación estándar de 27 mm, los cuales de acuerdo con la NSR-10 deben cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ El espaciamiento entre los centros de una perforación estándar, agrandada o ranurada no debe ser menor a tres veces el diámetro del perno. [50]
- ✓ La distancia del centro de un perno de 1 in al borde de la parte conectada (platina 500 X 500 X 13 mm) no debe ser menor a 31,8 mm. [50]
- ✓ La distancia entre los centros de cualquier perno o al borde de la parte conectada no debe ser mayor a 12 veces el espesor de la parte conectada (13 mm) ni mayor a 150 mm. [50]

Considerando los requisitos mencionados se estableció el espaciamiento entre perforaciones (S) y la distancia al borde (I), los resultados obtenidos se registraron en la Tabla 17.9.

Tabla 17.9 Espaciamiento entre perforaciones y distancia al borde

$S_{\min}$ (mm)	$S_{\max}$ (mm)	$S_{\max}$ (mm)	S (mm)
76,2	156	150	150
$I_{\min}$ (mm)	$I_{\max}$ (mm)	$I_{\max}$ (mm)	I (mm)
31,8	156	150	50

Fuente: Autor

Finalmente, se determinó la resistencia de diseño al aplastamiento en las perforaciones estándar con pernos (ϕRn), obtenida a través de:

$$Rn = 1,2L_c t F_u \leq 2,4dt F_u \quad (63)$$

Donde,

d es el diámetro nominal del perno

F_u es la resistencia a tensión mínima del material conectado

L_c es la distancia libre, entre el borde de la perforación y el borde del material

t es el espesor del material conectado

Por lo tanto, se calcularon los límites del aplastamiento y se tomó el de menor valor para establecer la resistencia al aplastamiento de cada perno.

$$Rn_1 = 1,2 \times \left(0,05 - \frac{0,0254 \text{ m}}{2} \right) \times 0,013 \text{ m} \times 428 \times 10^3 \text{ KN}$$
$$Rn_1 = 243,7 \text{ KN}$$

$$Rn_2 = 2,4 \times 0,0254 \text{ m} \times 0,013 \text{ m} \times 428 \times 10^3 \text{ KN}$$
$$Rn_2 = 339,18 \text{ KN}$$

Dado que, Rn1 es menor a Rn2 se tiene en cuenta el primero, para el cálculo de la resistencia al aplastamiento de 1 perno.

$$\phi Rn = 0,75 \times 243,7 \text{ KN}$$
$$\phi Rn = 182,78 \text{ KN}$$

Al establecer la resistencia al aplastamiento de 1 perno, se multiplicó dicho valor por la cantidad de pernos empleados, es decir que la resistencia de diseño al aplastamiento de la conexión entre la estructura habitable y la flotante es de:

$$\phi Rn = 8 \times 182,78 \text{ KN} \rightarrow \phi Rn = 1462,22 \text{ KN}$$

17.1.6. DEFLEXIÓN DE LA VIGA

Se verificó que la deflexión producida por la carga de servicio que soporta la viga sea menor que la deflexión máxima permisible, por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (64)$$

Donde,

$\Delta_{\text{máx}}$ es la deflexión de la viga

w es la carga de servicio de la viga

L es la longitud de la viga

EI es la rigidez de la viga

17.2.5.1. Carga Servicio

$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{5(11,195 \text{ kg/cm})(373 \text{ cm})^4}{384 \left(\frac{2040000 \text{ kg}}{\text{cm}^2} \right) (15713,9 \text{ cm}^4)} = 0,088 \text{ cm}$$

El valor de la deflexión máxima permisible se estableció con la ecuación (65), tal como se muestra a continuación:

$$\Delta_{permitida} = \frac{L}{360} \quad (65)$$

$$\Delta_{permitida} = \frac{373cm}{360} = 1,04 \text{ cm}$$

$$\Delta_{permitida} = 1,04 \text{ cm}$$

Donde,

$\Delta_{permitida}$ es la deflexión máxima permisible

L es la longitud de la viga

Finalmente, se comprobó que la deflexión generada por la carga de servicio no sobrepasara el valor máximo de la deflexión permitida.

$$\Delta_{m\acute{a}x} < \Delta_{permitida} \quad (66)$$

$$0,088 \text{ cm} < 1,05 \text{ cm} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

17.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FLOTANTE

El diseño de la estructura flotante se efectuó teniendo en cuenta los requerimientos y especificaciones definidos en la norma de construcción, inspección, mantenimiento y clasificación de embarcaciones fluviales (Decreto 2049 de 1956), los cuales, solo se podían aplicar si las dimensiones propuestas para la estructura flotante cumplían con tres condiciones, previamente mencionadas (Ver numeral 5412.1), cada una de estas se cumplió satisfactoriamente (Ver Tabla 12.2); por lo tanto, se procedió a aplicar cada uno de los parámetros y recomendaciones para establecer las propiedades del acero para la estructura flotante, para lo cual se determinaron las dimensiones de cada uno de los elementos que componen dicha estructura.

Las dimensiones de los elementos de la estructura flotante se obtuvieron por medio de las tablas especificadas en el decreto 2049 de 1956 (Ver numeral 12.2), las cuales se encontraban limitadas por la eslora (14 m), el puntal costado (1,5 m) y la separación entre cuadernas (0,4 m); con dichas tablas se definió un espesor mínimo para cada una de las planchas y se estableció el tipo de lámina, ángulo y platina con sus respectivas dimensiones, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17.10 Dimensiones de los elementos de la estructura flotante

Detalle	Elemento	Dimensión
Platina	Cuadernas	3" X 1/4
	Mamparo de división	3" X 1/4
Ángulo L.D	Esquinas superiores	3" X 3" X 1/4
	Cuadernas	2" X 2" X 1/4
Lámina H.R.	Fondo	1/4" X 1,2 m X 6 m
	Pantoques	1/4" X 1,2 m X 6 m
	Costados	3/16" X 1,2 m X 6 m
	Cubierta	3/16" X 1,2 m X 6 m
	Mamparos de división	3/16" X 1,2 m X 6 m

Fuente: Autor

Las dimensiones seleccionadas para cada uno de los elementos se realizaron en base a las siguientes consideraciones:

- ✓ Los ángulos esquineros (3" X 3" X 1/4") tienen una dimensión mayor a los ángulos de refuerzos de las cuadernas (2" X 2" X 1/4"), dado que estos no solo se encargan de unir la lámina de la cubierta con la de costado, sino que también deben soportar y distribuir los esfuerzos de una lámina a otra.
- ✓ El espesor de la lámina del fondo y de los pantoques (1/4") es mayor a los otros elementos (3/16"), ya que deben soportar el peso de toda la estructura y sobre estos se apoya el mismo cada vez que la vivienda flotante desciende después de que ocurra un evento de inundación.

17.3. SISTEMA DE ANCLAJE

El sistema de anclaje que se propuso para la vivienda flotante fue el sistema pilotado o de parales, este se seleccionó mediante el análisis de cada uno de los sistemas mencionados en el numeral 13, para lo cual se tuvo en cuenta las diferentes ventajas y desventajas que conllevan su posible implementación.

Además, se propusieron las dimensiones para cada uno de los parales, con el fin de llevar a cabo el diseño de la placa base y su respectiva cimentación, para lo cual se tuvo en cuenta un estudio geotécnico que se realizó en el barrio Santander del municipio de Puerto López.

17.3.1. Diseño de la placa base

Para llevar a cabo el diseño de la placa base, se tuvieron en cuenta los datos registrados en la Tabla 17.11.

Tabla 17.11 Datos para el diseño de la placa base de cada paral

Datos diseño placa base	
PU (KN)	176
d (in)	8
d (m)	0,2032
f _c (MPa)	21
F _y (MPa)	345
φ _c	0,65

Fuente: Autor

Adicionalmente, se estableció que el área de la placa cubre toda el área del pedestal de concreto de la cimentación, por lo tanto, se tiene que:

$$\sqrt{\frac{A_1}{A_2}} = 1$$

Donde,

A1 es el área de la placa base

A2 es el área del pedestal de concreto de la cimentación

Por lo tanto, el área de la placa se encuentra delimitada por la siguiente ecuación:

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c(0,85f'_c)\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}} \quad (67)$$

Donde,

Pu es la carga total que transmite la columna a la placa base

f'c es la resistencia a compresión del concreto

φc es el coeficiente de reducción de resistencia para una sección compuesta cargada axialmente, es igual a 0,65

Con los datos de la Tabla 17.11 y la relación entre áreas mencionadas anteriormente, se calculó el área total de la base con la ecuación (67), teniendo en cuenta que esta debe ser por lo menos igual al área del paral (324,29 cm²).

$$A_1 = \frac{176 \text{ KN}}{0,65 \times (0,85 \times 21 \times 10^3 \text{ KPa}) \times (1)}$$

$$A_1 = 0,015169 \text{ m}^2 = 151,69 \text{ m}^2$$

Dado que, el área calculada es menor al área mínima, se tomó el valor de la última (324,29 cm²) para determinar las dimensiones mínimas de la placa, las cuales se obtienen por medio de las ecuaciones (68) y (69).

$$N_{\min} = \sqrt{A_1} + \frac{0,95d - 0,8d}{2} \quad (68) \quad M_{\min} = \frac{A_1}{N_{\min}} \quad (69)$$

Donde,

N_{mín} es el largo de la placa

M_{mín} es el ancho de la placa

d es el diámetro del paral (20,32 cm)

A1 es el área de la placa

$$N_{\min} = \sqrt{324,92 \text{ cm}^2} + \frac{0,95(20,32 \text{ cm}) - 0,8(20,32 \text{ cm})}{2} \rightarrow N_{\min} = 19,53 \text{ cm} \cong 20 \text{ cm}$$

$$M_{\min} = \frac{324,92 \text{ cm}^2}{19,53 \text{ cm}} \rightarrow M_{\min} = 16,6 \text{ cm} \cong 17 \text{ cm}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos de las ecuaciones (68) y (69) las dimensiones de la placa son 20 cm de largo por 17 cm de ancho; sin embargo, cabe destacar que el diámetro del paral es de 8 in (20,32 cm), por lo tanto, estas dimensiones no son adecuadas para la placa base de cada paral. Por lo cual, se

optó por implementar una placa de 40 cm de largo por 40 cm de ancho; para garantizar la disponibilidad de espacio para la ubicación de los pernos.

Al establecer las dimensiones de la placa, se procedió a verificar la resistencia al contacto del concreto de la cimentación ($\phi_c P_p$) con la ecuación (70), esta debe ser mayor a la carga total que transmite el paral a la placa base (P_u). [51]

$$\phi_c P_p = \phi_c 0,85 f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (70)$$

$$\phi_c P_p = 0,65 \times (0,85 \times 21 \times 10^3 \text{ KPa}) \times (0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}) \times (1)$$

$$\phi_c P_p = 1856,4 \text{ KN} > 176 \text{ KN} \rightarrow \text{OK}$$

Una vez verificada la resistencia al contacto del concreto, se definió el espesor requerido de la placa (t_{req}), la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$t_{req} = \ell \sqrt{\frac{2 P_u}{0,9 F_y B N}} \quad (71)$$

Donde,

ℓ es el valor mayor de las siguientes ecuaciones: [51]

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} \quad (72) \quad n = \frac{B - 0,8d}{2} \quad (73) \quad n' = \frac{\sqrt{d \times d}}{4} \quad (74)$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{0,4 \text{ m} - 0,95 \times 0,2032 \text{ m}}{2} \rightarrow m = 0,1035 \text{ m} = 10,35 \text{ cm} \\ n &= \frac{0,4 \text{ m} - 0,8 \times 0,2032 \text{ m}}{2} \rightarrow n = 0,1187 \text{ m} = 11,87 \text{ cm} \\ n' &= \frac{\sqrt{0,2032 \text{ m} \times 0,2032 \text{ m}}}{4} \rightarrow n' = 0,0508 \text{ m} = 5,08 \text{ cm} \end{aligned}$$

En base a los resultados obtenidos con las ecuaciones (72), (73) y (74), se tiene que el valor de ℓ es igual a n , es decir de 11,87 cm; con este valor se procedió a calcular el espesor requerido de la placa por medio de la ecuación (71), para lo que se obtuvo:

$$t_{req} = 0,1187 \text{ m} \sqrt{\frac{2 \times 176 \text{ KN}}{0,9 \times (345 \times 10^3 \text{ KPa}) \times 0,4 \text{ m} \times 0,4 \text{ m}}} \rightarrow t_{req} = 0,01 \text{ m}$$

De acuerdo con lo anterior se tiene que la placa base de cada paral tiene una dimensión de 400 X 400 X13 mm; la cual posee la siguiente resistencia de diseño:

$$\phi P_n = 0,9 \times (0,4 \text{ m} \times 0,013 \text{ m}) \times (345 \times 10^3 \text{ KPa}) \rightarrow \phi P_n = 1614,6 \text{ KN}$$

Finalmente, se calculó la resistencia de este sistema de anclaje al aplastamiento, con los datos registrados en la Tabla 17.12, el procedimiento realizado para la obtención de dichos valores se encuentra detallado en la memoria de cálculos (ANEXO A).

Tabla 17.12 Datos para el diseño por aplastamiento de la placa para cada paral

Datos para diseño por aplastamiento	
Tipo de perno	A490-N
Diámetro del perno (in)	7/8
Diámetro del perno (m)	0,0222
Número de pernos	8
Perforación estándar (m)	0,0238
Espaciamento entre pernos (m)	0,09
Distancia al borde (m)	0,065
Distancia libre – Lc (m)	0,0531
Espesor de la parte conectada – t (m)	0,013
Resistencia a la tensión - Fu (MPa)	428

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los datos de la tabla anterior (Tabla 17.12) y la ecuación (63) se determinó la resistencia al aplastamiento del sistema de anclaje de cada paral.

$$\phi R_n = 8 \times (0,75 \times 2,4 \times 0,0222 \text{ m} \times 0,013 \text{ m} \times 428 \times 10^3 \text{ KN})$$

$$\phi R_n = 1778,70 \text{ KN}$$

17.3.2. Diseño de zapata con carga axial

Para realizar el diseño de la zapata cuadrada cargada axialmente, se tuvieron en cuenta los datos y especificaciones mencionadas en Tabla 17.13.

Tabla 17.13 Datos para el diseño de una zapata con carga axial

Datos para el diseño de una zapata cuadrada	
Ancho b ₁ del Pedestal	40 cm
Largo b ₂ del Pedestal	40 cm
Carga Axial Muerta (P _D)	120 KN
Carga Axial Viva (P _L)	20 KN
Resistencia del Concreto de Zapata (F'c)	21 MPa
Esfuerzo de Fluencia del acero de Zapata (Fy)	420 MPa
Esfuerzo admisible del suelo (σ _{adm})	100 KN/m ²
Profundidad de desplante (D _i)	1,10 m
Peso específico del suelo (γ _s)	15 KN/m ³
Peso específico del concreto (γ _c)	24 KN/m ³
Espesor de la Zapata (h)	40 cm

Fuente: Autor

17.4.2.1. Cargas de Diseño

- Carga de servicio:

$$P_{1U} = P_D + P_L \quad (75)$$

$$P_{1U} = 120KN + 20KN = 140KN$$

- Carga mayorada (Ver ecuación 1,2 D + 1,6 L (1))

$$P_U = 1,2(120KN) + 1,6(20KN) = 176 KN$$

17.4.2.2. Dimensiones de la Zapata

- Distancia desde la fibra extrema en compresión al centroide del refuerzo longitudinal:

$$d = h - \text{Recubrimiento} \quad (76)$$

$$d = 40cm - 7,5cm = 32,5cm$$

- Esfuerzo neto:

$$\sigma_{na} = \sigma_{adm} - \gamma_c d - [\gamma_s(D_f - d)] \quad (77)$$

$$\sigma_{na} = 100KN/m^2 - (24KN/m^3)(0,325m) - [15KN/m^3(1,10m - 0,325m)]$$

$$\sigma_{na} = 80,575 \frac{KN}{m^2}$$

- El área de la zapata será la relación entre la carga de servicio y el esfuerzo neto del suelo:

$$\text{Área} = \frac{120KN + 20KN}{\frac{80,575KN}{m^2}} \cong 1,7 m^2$$

- Ancho B y largo de la zapata:

$$B = L = \sqrt{1,7} \cong 1,3 m$$

17.4.2.3. Punzonamiento o Cortante Bidireccional

Las zapatas presentan falla de cortante por punzonamiento como resultado de la carga axial que le transfiere el pedestal, generando una sección de rotura perpendicular al plano de la zapata, la cual se ubica desde la distancia tomada de la cara del paral y el borde de la placa. [52]

Para evaluar el esfuerzo cortante bidireccional de la zapata cuadrada (V_{ub}), se emplea la ecuación:

$$V_{ub} = \frac{P_u}{B^2} [B^2 - (b_1 + d)(b_2 + d)] \quad (78)$$

Donde,

P_u es la Carga última

B es el ancho de la zapata

d es la diferencia entre el espesor de la zapata y recubrimiento

b_1, b_2 son dimensiones del pedestal

De acuerdo con el numeral C.11.11.2.1 de la NSR-10, el valor del esfuerzo cortante bidireccional de la zapata (V_u) deber ser menor al resultado obtenido de las siguientes ecuaciones:

$$\phi_v V_{cb1} = \phi_v 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{F'c} b_0 d \quad (79)$$

$$\phi_v V_{cb2} = \phi_v 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \lambda \sqrt{F'c} b_0 d \quad (80)$$

$$\phi_v V_{cb3} = \phi_v 0,33 \lambda \sqrt{F'c} b_0 d \quad (81)$$

ϕ_v : es el coeficiente de reducción de resistencia (0,75)

α_s para columnas interiores (40), columnas de borde (30) y columnas en esquina (20)

b_0 es el perímetro de la sección crítica

β es la relación entre el lado largo y el lado corto del pedestal

λ para concretos de peso normal (1) y concretos de peso liviano (0,75)

Considerando lo anterior, se realizó la evaluación de cortante bidireccional de la zapata, los resultados se registraron en la Tabla 17.14.

Tabla 17.14 Cortante bidireccional de zapata

V_{ub} (KN)	$\phi_v V_{cb1}$ (KN)	$\phi_v V_{cb2}$ (KN)	$\phi_v V_{cb3}$ (KN)
121,260	1652,047	1742,971	1068,972

Fuente: Autor

Esta evaluación permite comprobar que la zapata no va presentar falla por punzonamiento dado que el esfuerzo a cortante bidireccional es menor al de diseño.

$$V_{ub} < \phi_v V_{cb} \quad (82)$$

17.4.2.4. Cortante Unidireccional

Se revisa el comportamiento de la zapata como un elemento viga, en donde la sección crítica se extiende en un plano por medio del ancho total, se localiza después de la distancia medida entre la cara del paral y el borde de la placa. [52]

El esfuerzo cortante unidireccional (V_{uu}) para un zapata cuadrada está dado por la ecuación:

$$V_{uu} = \frac{P_u}{B} \left(\frac{B - b_1}{2} - d \right) \quad (83)$$

El cual debe cumplir con la siguiente condición:

$$V_{uu} < \phi_v V_{cu} \quad (84)$$

Donde,

$$\phi_v V_{cu} = \phi_v 0,17 \lambda \sqrt{F'c} B d \quad (85)$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones (83), (84) y (85), se revisó la cortante unidireccional de la zapata cuadrada ($\phi_v V_{cu}$).

$$V_{uu} = \frac{176KN}{1,3m} \left(\frac{1,3m - 0,40m}{2} - 0,325m \right) = 16,923 KN$$

$$\phi_v V_{cu} = 0,75(0,17)(1)\sqrt{21MPa}(1,3m)(0,325m)1000 = 246,858 KN$$

$$16,923 KN < 246,858 KN$$

17.4.2.5. Diseño a Flexión

El momento máximo (M_u) de la zapata debe ser igual al momento de las fuerzas que ejercen sobre un lado del plano vertical del área de la zapata [53], expresado como:

$$M_u = \frac{P_u}{2B} \left(\frac{B}{2} - \frac{b_1}{2} \right)^2 \quad (86)$$

$$M_u = \frac{176KN}{2(1,3m)} \left(\frac{1,3m}{2} - \frac{0,40m}{2} \right)^2 = 13,708 KN \cdot m$$

Al definir el momento máximo y considerando el numeral C.7.12.2.1 de la NSR-10, en el cual se especifica que el refuerzo a flexión debe tener una cuantía mínima de 0,0018; se estableció la cantidad de acero requerido para el elemento estudiado Tabla 17.15, por medio de las ecuaciones enunciadas a continuación:

$$K = \frac{M_u}{B d^2} \quad (87)$$

$$M = \frac{F_y}{0,85 F'c} \quad (88)$$

$$\rho_{req} = \frac{1}{M} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2KM}{\phi F_y}} \right) \quad (89)$$

$$A_{sreq} = \rho_d B d \quad (90)$$

Tabla 17.15 Acero requerido para zapata cuadrada

K (KN/m ²)	M	ρ req	ρ min	As req (cm ²)
99,831	23,529	0,00026	0,0018	7,61

Fuente: Autor

Por tanto, el acero colocado para la zapata cuadrada se encuentra especificado en la Tabla 17.16.

Tabla 17.16 Acero colocado para la zapata cuadrada		
Acero Colocado (cm ²)	Barra de Refuerzo	
	Cantidad	Número
9,90	5	5

Fuente: Autor

17.4.2.6. Resistencia al aplastamiento

De acuerdo al numeral C.10.14.1 de la NSR-10, la resistencia al aplastamiento debe ser tal que:

$$P_u < \phi_a P_a \quad (91)$$

Donde:

$$\phi_a P_a = \phi_a 0,85 F'_c A_1 \quad (92)$$

$$176KN < 0,65(0,85)(21MPa)(0,4m)(0,4m)1000$$

$$176KN < 1856,4KN$$

Con base en el resultado obtenido, se puede comprobar que el concreto va resistir el aplastamiento producido por la carga.

17.4. ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD

17.4.1. Análisis de flotabilidad

La flotabilidad de una embarcación al igual que cualquier objeto se puede describir o explicar por medio del principio de Arquímedes, el cual indica que un objeto sumergido en un determinado fluido experimenta una fuerza de empuje igual al peso del volumen del fluido desalojado [54], que en este caso es el agua producto de un evento de inundación.

Este desplazamiento de agua se calculó para dos situaciones (Ver numeral 14.1.2), peso de la unidad (estructura flotante) y carga general (estructura habitable, incluyendo tanques, barandas, personas, mobiliario, entre otros). Asimismo, se estableció la capacidad máxima que tiene la estructura flotante para soportar o transportar una carga (Ver numeral 14.1.3), que en este proyecto es la generada por la estructura habitable.

Aplicando el principio de Arquímedes, el peso de la vivienda flotante tiene que ser menor a la fuerza de empuje generada en la estructura, para que flote sobre la superficie del agua (Ver Figura 6.4); es decir, dicha fuerza es equivalente al peso del volumen de agua desalojado, tal como se muestra en la Tabla 17.17.

Tabla 17.17 Peso del agua desalojada

Desplazamiento	Volumen de agua desalojado (m ³)	Peso de agua desalojada (Ton)
Vacío	28,953	28,953
Capacidad Transportadora	89,042	89,042

Fuente: Autor

Ahora bien, para verificar que la vivienda flotante cumple con la condición mencionada, es decir tenga una capacidad de flotación positiva, se tuvieron en cuenta los pesos de las dos estructuras, los cuales se registraron en la Tabla 17.18.

Tabla 17.18 Peso de la estructura flotante y habitable con sus respectivos desplazamientos de agua

Estructura	Peso de la estructura (Ton)	Desplazamiento	Peso de agua desalojada (Ton)
Flotante	20,26	Vacío	28,953
Habitable	42,63	Capacidad Transportadora	89,042

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla anterior (Ver Tabla 17.18) se puede observar que el peso de las dos estructuras (flotante y habitable) es menor al peso del agua desalojada en los dos desplazamientos considerados; por lo tanto, se tiene que la vivienda flotante posee una capacidad de flotación positiva, es decir que flota sobre la superficie del agua.

Es importante aclarar que los pesos de estas estructuras pueden variar de acuerdo con los materiales que se deseen emplear para una futura construcción, los pesos que se mostraron (Ver Tabla 17.18) son del presupuesto que se realizó en el numeral 16. Además, en caso de que los pesos de las dos estructuras sean iguales o superen el peso del agua desalojada, la unidad flotante cuenta con una reserva de flotabilidad, que es el volumen existente entre la superficie de flotación y la cubierta de la estructura flotante [55]; el cual garantiza que la vivienda flotante tenga una capacidad de flotación positiva, incluso en condiciones de mal tiempo; esto se comprobó por medio del coeficiente de flotabilidad (Ver numeral 14.1.4), el cual fue superior al 50%, demostrando que la vivienda flotante puede flotar incluso en condiciones desfavorables.

17.4.2. Análisis de estabilidad

La estabilidad define la condición de equilibrio (inestable, neutro y estable) que puede presentar una embarcación al momento de entrar en contacto con el agua (Ver numeral 6.1.4.2); dicha condición depende principalmente de: [55]

- ✓ Desplazamiento del agua
- ✓ Centro de carena
- ✓ Centro de gravedad
- ✓ Metacentro

- ✓ Punto de aplicación de la fuerza de empuje, centro de gravedad y metacentro

Las condiciones de equilibrio pueden variar de acuerdo con los valores de los elementos mencionados, es decir, si una embarcación tiene un centro de gravedad por encima del metacentro y con diferente punto de aplicación, tendrá un equilibrio inestable (alta probabilidad de volcamiento). Ahora bien, si el centro de gravedad coincide con la ubicación y el punto de aplicación del metacentro, la embarcación poseerá un equilibrio neutro (baja probabilidad de recuperar su posición inicial después de una inclinación o escora); para que tenga un equilibrio estable el centro de gravedad debe estar por debajo de la ubicación del metacentro pero su punto de aplicación se debe encontrar en la misma vertical. [55]

Los parámetros mencionados son necesarios para efectuar los diferentes cálculos de la estabilidad estática para una embarcación en aguas tranquilas; por lo general se calcula para inclinaciones o escoras menores de 10° y se obtiene por medio de la altura metacéntrica de la embarcación [55].

Además, es importante destacar que no se efectuó el cálculo de la estabilidad dinámica, la cual se determina cuando una embarcación se encuentra expuesta a fuerzas externas como grandes olas y vientos fuertes [55]; dado que la zona donde se realiza el estudio no posee dichas condiciones climáticas, además en caso de que se presentaran no es necesario calcular la estabilidad dinámica, ya que el sistema de parales restringe cualquier desplazamiento horizontal.

Asimismo, cabe mencionar que la estabilidad estática se divide en dos:

- ✓ **Estabilidad estática transversal:** es la capacidad que posee toda embarcación para regresar a su posición inicial después de producirse una inclinación que ocasiona que uno de los costados de la unidad emerja y el otro se sumerja, este movimiento usualmente se denomina balanceo. [37]
- ✓ **Estabilidad estática longitudinal:** es la capacidad que tiene una embarcación para retomar su posición inicial después de una determinada inclinación; esta se diferencia de la transversal, dado que las inclinaciones se generan de proa a popa o viceversa y su medición se realiza por medio de la variación de calados entre la proa y popa; dicho movimiento se denomina cabeceo o asiento [55]. Por lo general se suele despreciar el cálculo de esta estabilidad dado que su valor es bastante alto en comparación con la estabilidad transversal, por lo tanto, la condición de equilibrio de la embarcación no se ve afectada longitudinalmente. [11]

17.4.2.1. Estabilidad estática transversal

La estabilidad estática transversal de una embarcación es equivalente a la altura metacéntrica transversal (Ver numeral 14.2.1.5), la cual depende de la altura del metacentro desde la quilla (fuerza ascendente) y la altura del centro de gravedad

(fuerza descendente) [37], estos a su vez definen la condición de equilibrio de la unidad flotante; el procedimiento que se llevó a cabo para estos parámetros se encuentran en los numerales 14.2.1.3 y 14.2.1.4, respectivamente. Los resultados obtenidos se organizaron en la Tabla 17.19.

Tabla 17.19 Estabilidad estática transversal

Situación analizada	Altura del metacentro desde la quilla (KMO) (m)	Altura del centro de gravedad (KG) (m)	Altura metacéntrica transversal (GMO) (m)
Unidad estando vacía	25,646	0,503	25,143
Unidad a plena carga	6,88	1,416	5,464

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla anterior (Tabla 17.19) se tiene que la vivienda flotante posee un equilibrio estable, dado que la altura metacéntrica transversal (GMO) es mayor a cero en las dos situaciones analizadas y el metacentro se encuentra ubicado por encima del centro de gravedad; esto garantiza que en caso de que se presente cierto grado de inclinación o escora, la ubicación del par de estabilidad (KMO y KG) permitirá que la vivienda flotante regrese a su posición original.

Adicionalmente, se puede analizar que:

- ✓ La unidad estando vacía, es decir sin tener en cuenta la estructura habitable; es una embarcación dura o rígida de estabilidad, ya que la altura metacéntrica obtenida para esta situación es considerablemente alta (25,143 m), lo cual ocasiona que la unidad se balancee de manera rápida. [55]
- ✓ La unidad a plena a carga (vivienda flotante) es una embarcación blanda de estabilidad, dado que la altura metacéntrica transversal es baja (5,464 m); esto indica que los balances que se puedan presentar son amplios y de larga duración, lo cual conlleva a que la unidad se demore en volver a su posición inicial [37]; sin embargo, es importante aclarar que el sistema de parales que posee la vivienda flotante evita que se produzcan grandes grados de inclinación, por lo tanto, los periodos de duración y la amplitud del balanceo serán menores.

17.4.2.2. Estabilidad estática longitudinal

La estabilidad estática longitudinal se obtiene por medio de la altura metacéntrica longitudinal (Ver numeral 14.2.2.2), la cual está limitada al igual que la estabilidad transversal por la altura del centro de gravedad y la altura del metacentro desde la quilla; la diferencia entre los cálculos realizados para las dos estabilidades se encuentra en el radio metacéntrico (CM), dado que en el transversal (CMO) el momento de inercia se determinó con respecto al eje longitudinal (Ver numeral 14.2.1.2) y para el longitudinal (CML) el momento de inercia se estableció con respecto al eje transversal (Ver numeral 14.2.2.1). Los resultados que se obtuvieron para la estabilidad estática longitudinal se organizaron en la Tabla 17.20.

Tabla 17.20 Estabilidad estática longitudinal

Situación analizada	Altura del metacentro desde la quilla (KC+CML) (m)	Altura del centro de gravedad (KG) (m)	Altura metacéntrica longitudinal (GML) (m)
Unidad estando vacía	65,365	0,503	64,862
Unidad a plena carga	16,833	1,416	15,417

Fuente: Autor

En la tabla anterior (Tabla 17.20) se puede apreciar que la unidad en las dos situaciones analizadas es dura o rígida de estabilidad y tiene un equilibrio estable, dado que la altura metacéntrica registrada en ambas situaciones es considerablemente alta y el metacentro tanto de la estructura flotante (unidad estando vacía) como de la vivienda flotante (unidad a plena carga) se encuentran por encima del centro de gravedad.

17.5. PROPUESTA DEL SISTEMA DE SERVICIOS PÚBLICOS

Durante los eventos de inundación los habitantes de la zona afectada están expuestos a riesgos eléctricos, tales como, electrocución, incendios, explosiones o quemaduras por choque eléctrico e incluso la muerte [56], esto debido a que las sales minerales que poseen los diferentes cuerpos hídricos y el agua tratada, facilitan el paso de una corriente eléctrica [57]. Por otra parte, el sistema hidrosanitario se puede ver interrumpido por posibles afectaciones en la red de acueducto y alcantarillado durante dicho periodo.

En base a lo anterior, se investigaron diferentes alternativas que proporcionaran los servicios básicos en la vivienda flotante, de las cuales se obtuvo lo siguiente:

- **Sistema solar fotovoltaico:** donde el subsistema de generación está conformado por paneles solares de silicio policristalino, dado que con la radiación promedio registrada en la región se alcanza rápidamente la potencia necesaria para el funcionamiento de todo el sistema (Ver numeral 15.1); además al estar fabricado de forma modular permite ocupar de manera eficiente el espacio disponible para la instalación del mismo.
- **Tubería PEX-A:** o tubería flexible de polímero altamente reticulado, la cual posee un alto grado de flexibilidad y resistencia en comparación con las otras tuberías PEX analizadas (Ver numeral 15.2); además puede soportar alargamientos superiores a 400% sin romperse [58].
- **Sistema séptico integrado:** es un tanque fabricado en polietileno, el cual cuenta con dos divisiones internas compuestas por: un tanque séptico y un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA); este sistema permite el tratamiento de las aguas residuales de la vivienda, separando los sólidos sedimentables de las grasas y aceites, que por medio del filtro se mejorará el proceso de clarificación de agua.

17.6. PRESUPUESTO DE LA VIVIENDA FLOTANTE

De acuerdo a los análisis de precios unitarios y las cantidades de obra obtenidas de cada una las actividades propuestas para la ejecución del proyecto, se realizó el presupuesto total de la obra, es decir la estimación aproximada del costo de la vivienda flotante. La Tabla 17.21 evidencia el valor total de cada actividad general y el valor total de la obra.

Tabla 17.21 Resumen del presupuesto del valor total de cada actividad general

ITEM	ACTIVIDAD	VALOR TOTAL
1	Preliminares	\$ 1.623.032
2	Rellenos	\$ 1.094.274
3	Excavación	\$ 568.187
4	Cimentación	\$ 2.049.797
5	Estructura Metálica	\$ 144.457.315
6	Estructura en Concreto	\$ 694.498
7	Instalaciones Sanitarias	\$ 4.741.416
8	Aparatos Sanitarios	\$ 2.532.734
9	Instalaciones Eléctricas	\$ 15.625.202
10	Instalaciones Hidráulicas	\$ 1.088.759
11	Pisos	\$ 8.786.656
12	Mampostería	\$ 13.517.173
13	Cubierta	\$ 3.468.374
14	Cielo Raso	\$ 4.645.173
15	Pañetes	\$ 6.625.007
16	Carpintería en Madera	\$ 2.529.057
17	Enchapes y Accesorios	\$ 881.886
18	Vidrios	\$ 834.843
19	Aseo	\$ 434.844
Valor Total de la Obra		\$ 216.198.229

FUENTE: AUTOR

18. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES

Los resultados obtenidos responden a los objetivos planteados para la elaboración del presente proyecto investigativo, los cuales se evidencian en la siguiente tabla.

Tabla 18.1 Resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacional
Diseño estructural de la vivienda flotante	Plano	Objetivo Específico 1
Memoria de cálculo del diseño estructural de la vivienda flotante	Documento	Objetivo Específico 1
Selección de un sistema de anclaje	Documento	Objetivo Específico 2
Análisis de estabilidad y flotabilidad	Documento	Objetivo Específico 3
Propuesta de implementación de un sistema de los servicios básicos	Documento	Objetivo Específico 4
Presupuesto como guía para la implementación del modelo de la vivienda flotante	Documento	Objetivo Específico 5

Fuente: Autor

Tabla 18.2 Impactos esperados

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	Propuesta para la prevención de riesgos de inundación	Modelo de una vivienda flotante	Mediano
Tecnológico	Implementación de nuevas alternativas de construcción	Modificación de estructura convencional de una vivienda	Corto
Político	Desarrollo de alternativas para la prevención de desastres	Construcción de viviendas flotantes	Largo
Ambiental	Desarrollo de energía sostenible.	Implementación de tecnologías amigables con el medio ambiente.	Largo

Fuente: Autor

19. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

19.1. CONCLUSIONES

- Con el diseño de los elementos estructurales del sistema de pórtico en acero se comprobó que los estados límites de resistencia de diseño fueron mayores a los requeridos; además, ante fuerzas horizontales como las de un sismo, la vivienda obedece con lo establecido en la NSR-10, donde los desplazamientos máximos que se obtienen en una estructura tanto en dirección “X” como en “Y” corresponden al 1% de la altura del piso estudiado; es decir que los desplazamientos registrados deben ser menores a 0,0275 m; los cuales cumplen satisfactoriamente, ya que la deriva máxima registrada fue de 0,0001 m; por lo tanto se pueden reducir las dimensiones de los elementos estructurales para disminuir la rigidez de la estructura.
- La estructura flotante tiene forma de barcaza con 14 m de eslora por 8,75 m de manga y 1,5 m de costado, dado que esta garantiza la estabilidad y flotabilidad de toda la estructura; igualmente con las dimensiones mencionadas cumple cada una de las condiciones establecidas en el decreto 2049 de 1956 y las modificaciones realizadas por la resolución 1918 de 2015. Además de acuerdo con la normativa mencionada se estableció que la estructura está conformada por láminas H.R. de 1/4” (fondo y pantoques) y 3/16” (costados, cubierta y mamparos de división) con platinas de 3” X 1/4 y ángulos de 3” X 3” X 1/4 y 2” X 2” X 1/4 como refuerzos de los elementos que componen la base flotante.
- El sistema de anclaje de la estructura flotante seleccionado fue el sistema de parales dado que evita movimientos horizontales de la vivienda pero permite desplazamientos verticales de esta durante el evento de inundación, además controla el balanceo de la estructura cada vez que aumente el nivel de agua; sin embargo, en caso de que no se quieran restringir los desplazamientos horizontales, es decir que no se tenga en cuenta el sistema de parales; es necesario aumentar la altura metacéntrica transversal de la unidad a plena carga reduciendo la altura del centro de gravedad, con el fin de que el periodo de duración y la amplitud del balanceo se reduzcan; o en su defecto realizar un análisis de los periodos de balance que pueda tener la vivienda flotante, para verificar que esta pueda navegar de manera segura y estable.
- Desde un aspecto técnico, la estabilidad de la vivienda cumple con los criterios específicos para flotar en el agua, ya que posee una capacidad de flotación positiva ($CF > 50\%$) y una condición de equilibrio estable ($GM > 0$); asimismo se tiene que, sin un sistema de anclaje la vivienda se encuentra expuesta a balanceos amplios y de larga duración, que no producen daños estructurales ni incomodidad a las personas a bordo.

- Para los servicios básicos se propusieron sistemas alternativos que se acomodaran a las características constructivas de la estructura flotante y dieran una solución eficiente a las necesidades de los habitantes de la vivienda. Los sistemas planteados son una opción sencilla de mantener los servicios básicos en la vivienda durante los eventos de inundación, además no requieren de grandes superficies para su instalación.
- El presupuesto total de la construcción de la vivienda flotante evidencia que implementar un sistema constructivo con nuevas tecnologías ecológicas no significa que la ejecución de esta sea económica, puesto que encontrar un equilibrio entre lo nuevo, económico y ecológico tiene como resultado un trabajo muy arduo, ya que la alternativa de un producto nuevo resulta más costosa por los diferentes procesos de instalación.

19.2. TRABAJOS FUTUROS

A partir del presente trabajo es recomendable realizar un estudio de prefactibilidad, para analizar las diferentes alternativas de materiales, formas de estructura flotante y los posibles efectos que se generan por la implementación de una vivienda flotante en el ámbito ambiental, técnico, financiero, político, legal, social y organizacional.

Además, se pueden elaborar investigaciones donde se especifique el asentamiento producido por la vivienda cada vez que descienda al nivel del terreno y sus posibles soluciones. Finalmente, se recomienda efectuar un análisis detallado del sistema de parales, con el fin de garantizar la restricción de movimientos horizontales y establecer su capacidad para soportar las cargas generadas por la vivienda antes y durante los eventos de inundación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Y. Martínez, «Ríos del Meta y Guaviare se desbordaron a causa de las fuertes lluvias,» LAFM, 2 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.lafm.com.co/colombia/rios-del-meta-y-guaviare-se-desbordaron-causa-de-las-fuertes-lluvias>. [Último acceso: 13 Noviembre 2019].
- [2] IDEAM, «Informe hidrológico 31 de Mayo,» Bogotá D.C., 2018.
- [3] Concejo municipal de Puerto López, Meta, Plan de Desarrollo de 2012 - 2015, Puerto López, 2012.
- [4] N. Ibaceta, «Plataforma flotante,» de *Construcción naval*.
- [5] Ministerio de Transporte, Normas para la Construcción, Inspección y Clasificación de las Embarcaciones Fluviales, Bogotá D.C., 1956.
- [6] A. Santos, «Presión hidrostática,» 2017. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/53160718-Presion-hidrostatica.html>. [Último acceso: 08 Noviembre 2018].
- [7] S. Molina y A. Walker, Diseño y desarrollo de una plataforma flotante adecuada para la construcción de una vivienda rural unifamiliar para población de bajos recursos para sobrellevar las inundaciones aluviales futuras en las zonas críticas de la depresión momposina, Medellín - Colombia, 2010.
- [8] L. Barrientos, Optimización estructural de pontones flotantes de hormigón armado ocupados en la industria acuícola, Valdivia - Chile, 2014.
- [9] J. Condori, Elaboración del plan de puntos de inspección, para la construcción de una barcaza para transporte de lodos, minerales y otras cargas no peligrosas, Lima - Peru, 2014.
- [10] E. Hernandez, Hidrodinámica, Mexico, 2014.
- [11] B. Guerrero, Equilibrio de los cuerpos flotantes, Valparaíso, Chile, 2011.
- [12] F. Suárez, Equilibrio Resistencia Estabilidad, Universidad de La Coruña, 2013.
- [13] A. Vlacarce, Principio de Arquímedes, Ecuación de continuidad y Bernoulli, Santiago - Chile, 2014.
- [14] L. Castilla, Propuesta de modelo de ciudad anfibia en el municipio de San Marcos - Sucre, Bogotá D.C., 2012.
- [15] P. Castillo, Prototipo de vivienda anfibia para poblaciones vulnerables en zonas con riesgo de inundación, Bogotá D.C., 2012.
- [16] N. Ibaceta, «Plataforma flotante para el estero Mantagua,» de *Construcción naval*, Chile, 2012.
- [17] J. Palacios, Estudio de prefactibilidad para la construcción de casas flotantes sostenibles, caso de estudio ciudad de Quibdó, Bogotá D.C., 2012.
- [18] E. Bocanegra, Biobama vivienda para zonas inundables, Bogotá D.C., 2014.

- [19] A. Carrillo y R. Rojas, Manual para la construcción de viviendas en zonas de inundación en el municipio de Sucre en el departamento de Sucre, Bogotá D.C., 2014.
- [20] M. Castro, Modelo de vivienda para poblaciones en zonas de riesgo de inundación Honda - Tolima, Bogotá D.C., 2014.
- [21] Ministerio de Transporte, Resolución 1918 de 2015, Bogotá D.C., 2015.
- [22] Ministerio de Transporte, «RESOLUCIÓN 1918 DE 23 DE JUNIO DE 2015,» Bogotá D.C., 2015.
- [23] Alcaldía de Puerto López, «Puerto López - Meta,» 5 Enero 2019. [En línea]. Available: <http://www.puertolopez-meta.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>. [Último acceso: 14 Abril 2019].
- [24] CORMACARENA, Plan Ambiental 2006 - 2018, Puerto López, 2006.
- [25] Secretaría de planeación, Plan Básico de Ordenamiento Territorial, Puerto López, 2018.
- [26] IDEAM, «Informe Hidrológico 31 de Marzo,» Bogotá D.C., 2018.
- [27] IDEAM, «Informe Hidrológico 16 de Mayo,» Bogotá D.C., 2018.
- [28] IDEAM, «Informe Hidrológico 8 de junio,» Bogotá D.C., 2018.
- [29] L. Bedoya y A. Ramírez, «La gestión local del riesgo de desastre como proceso de planificación ambiental y territorial en la cabecera municipal de Puerto López, departamento del Meta,» Pereira, 2016.
- [30] R. C. S. R. NSR-10, Título B: Cargas, Bogotá D.C., 2010.
- [31] R. C. S. R. NSR-10, Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sísmo resistente, Bogotá D.C., 2010.
- [32] ITP, Pantalanes flotantes, Santa Perpetua de Mogoda.
- [33] G. G. Pérez, Diseño de un centro cultural que rescate y utiliza técnicas constructivas de arquitectura vernácula flotante e incorpore un sistema de energía solar fotovoltaica, Babahoyo, Guayaquil - Ecuador, 2016.
- [34] P. V. Colimba y F. I. Choca, Diseño estructural de un edificio de 4 pisos en acero para proyecto de vivienda masivo, Quito, 2016.
- [35] A. Cavaller, Menorquín Yacht 110, Cartagena, 2007.
- [36] A. Granda, Modificación de un buque pesquero 287.4 Ton. de desplazamiento para cumplir con las normas de estabilidad, Lima - Perú, 2009.
- [37] A. Gudmundsson, Prácticas de seguridad relativas a la estabilidad de buques pesqueros pequeños, Roma: FAO, 2009.
- [38] J. Olivella, Teoría del buque: Estabilidad, varada e inundación, Barcelona: Edicions UPC, 1996.
- [39] J. Olivella, Teoría del buque: Flotabilidad y estabilidad, Barcelona: Edicions UPC, 2013.

- [40] Proyecto Energía, Desarrollo y Vida - EnDev/GIZ, Manual de instalación de un sistema fotovoltaico domiciliario, Lima: GIZ, 2013.
- [41] C. A. Toledo Arias, Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia, Cartagena, 2013.
- [42] IDEAM, «Atlas Interactivo - Radiación IDEAM,» 2014. [En línea]. Available: <http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/RadiacionSolar13.pdf>. [Último acceso: 22 Octubre 2019].
- [43] IDEAM, «Atlas Interactivo - Radiación IDEAM,» 2014. [En línea]. Available: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Brillo_Solar_13.pdf. [Último acceso: 22 Octubre 2019].
- [44] J. Gómez, J. Murcia y I. Cabeza, La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas, Bogotá D.C, 2018.
- [45] T. Díaz y G. Carmona, Instalaciones Solares fotovoltaicas, España: McGraw Hill, 2010.
- [46] S. R. G., «Tuberías PEX,» *TODO FERRETERÍA*, nº 79, pp. 50-55, 2018.
- [47] IWISS, «PROS & CONS DE LA TUBERÍA DE PEX-A, PEX-B, PEX-C,» IWISS, 03 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://iwiss.com/es/proscons-of-pex-a-pex-b-pex-c-tubing/>. [Último acceso: 23 Octubre 2019].
- [48] C. y. T. Ministerio de Vivienda, RAS 2000 TÍTULO E - Tratamiento de Aguas Residuales, Bogotá D.C, 2000.
- [49] Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, Propuesta de reglamento técnico salvadoreño para el diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para la zona rural, El Salvador: Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica, 2015.
- [50] R. C. S. R. NSR-10, Título F: Estructuras metálicas, Bogotá D.C., 2010.
- [51] J. McCormac y S. Csernak, Diseño de estructuras de acero 5a Edición, México: Alfaomega, 2013.
- [52] L. Garza, Diseño de estructuras de cimentación, Medellín.
- [53] R. C. S. R. NSR-10, Título C: Concreto Estructural, Bogotá D.C., 2010.
- [54] L. V. Terán, «Principio de Arquímedes,» *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Preparatoria No. 4 Vida Científica*, vol. 2, nº 3, 2014.
- [55] Bernandino, «Escuela Náutica Baleares,» [En línea]. Available: https://www.estudiasonavegas.com/images/Archivos/PY/PY_Seguridad/SEGURIDAD%20PY_Bernardino.doc. [Último acceso: 11 Septiembre 2019].
- [56] Universidad Politécnica de Madrid, «Riesgo eléctrico bajo control,» UPM, Madrid, 2006.
- [57] Universidad de Jaén, «Análisis de aguas,» UJA, Jaén, Andalucía, 2010.
- [58] REHAU, «PEXA VS PEXB, COBRE AND HDPE,» [En línea]. Available: <https://www.rehau.com/mx-es/construccion/municipex/pexa-vs-pexb-y-cobre>. [Último acceso: 23 Octubre 2019].

ANEXOS

ANEXO A

Memoria de Cálculos - Estructura Habitable

ANEXO B

Memoria de Cálculos - Estructura Flotante

ANEXO C

Planos Vivienda Flotante

ANEXO D

Presupuesto Vivienda Flotante