

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Uso de PET como agregado parcial en la mezcla de concreto para la  
construcción de casas unifamiliares de bajos recursos**

Trabajo de graduación presentado por María José Castañeda Amaya para  
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala,

2022



**Uso de PET como agregado parcial en la mezcla de concreto para la construcción de casas unifamiliares de bajos recursos**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



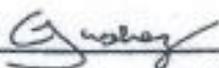
**Uso de PET como agregado parcial en la mezcla de concreto para la  
construcción de casas unifamiliares de bajos recursos**

Trabajo de graduación presentado por María José Castañeda Amaya para  
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

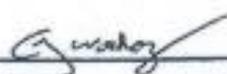
Guatemala,

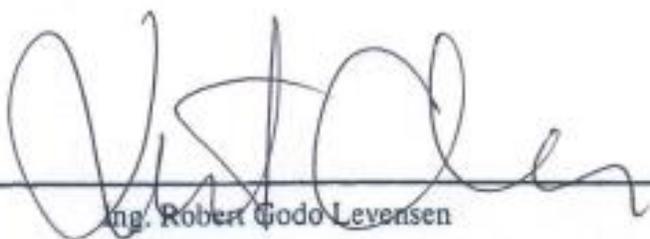
2022

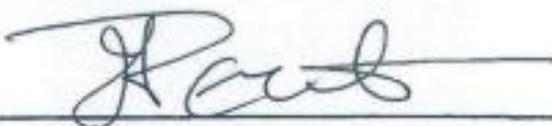
Vo.Bo.:

(f)  \_\_\_\_\_  
Ing. Gerardo Nochez

Tribunal Examinador:

(f)  \_\_\_\_\_  
Ing. Gerardo Nochez

(f)  \_\_\_\_\_  
Ing. Robert Godo Levensen

(f)  \_\_\_\_\_  
Ing. José Estuardo Palencia Samayoa

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de enero de 2022.

## PREFACIO

¿Cuál es la importancia de ser un Ingeniero?, es una pregunta que ha persistido en los cinco años de la carrera de Licenciatura de Ingeniería Civil. Con ayuda de los valores que me han enseñado en casa y con los pilares de la educación con los que se desarrolla la Universidad, me he dado cuenta que el ser un Ingeniero es más que construir, diseñar o ejecutar. Más bien, ser un ingeniero es una persona capaz de resolver problemas, alguien que desea innovar y ayudar a los de su alrededor.

En el transcurso de los últimos cinco años, Dios me ha guiado y abierto los ojos para ver la realidad que no solamente vive Guatemala, sino el mundo entero también. En primer año de universidad, tuve la oportunidad de promover en Guatemala, Filipinas y en redes sociales, por medio de charlas, la importancia de reusar, reducir, reciclar, reemplaza y reparar para reducir el impacto ambiental. Para esto, tuve capacitaciones por parte de AMSA (La Autoridad para el Manejo Sustentables de la Cuenca y del Lago de Amatitlán) y diferentes pláticas con expositores de todo el mundo sobre la importancia de cuidar el medio ambiente y también sobre la cantidad excesiva del plástico que existe en el mundo.

En segundo año de universidad, apoyé con repartir donaciones junto a la Fundación Love And Care for Our Children, enfocada a ayudar a los pueblos más vulnerables y mejorar la educación para los niños. En estas visitas, me pude dar cuenta en las condiciones que vivían muchas familias. Las viviendas estaban compuestas por paredes y techos de láminas y la mayoría, sin piso, solamente tierra. Es ahí donde me di cuenta, que para el desarrollo del país, se necesita de personas saludables para su crecimiento correcto, y al ver estas viviendas, los niños y adultos contraen enfermedades por la falta de un hogar que cumpla con todos los requisitos para que sea habitable, siendo casi imposible el buen desarrollo de estas personas.

Teniendo en consideración lo escrito anteriormente, en tercer año de universidad, para el curso de SIG y Geodesia, como proyecto final se asignó buscar un tema de investigación en el cual se pudiera utilizar el Software GIS y mapearlo. Aproveché la oportunidad y decidí investigar sobre los asentamientos precarios en la Ciudad de Guatemala y cómo ellos han ido creciendo con el paso de los años. La Ciudad de Guatemala, según Morataya (2011), cuenta con gran cantidad de barrancos de taludes casi verticales y de alta susceptibilidad a la erosión y movimientos en masa. Debido a la vulnerabilidad de ese tipo de terrenos, las personas con mayores posibilidades, desarrollan sus construcciones en partes de la ciudad sin riesgos de accidentes, dejando los barrancos libres para la creación de asentamientos. Por medio de esta investigación, se puede observar cómo muchas personas arriesgan sus vidas al vivir en este tipo de terrenos y, a la vez, al no tener un sistema de aguas negras, ni de recolección de basura apropiado, sus desechos son transportados a la parte baja del barranco, donde usualmente hay ríos, contaminándolos y afectando nuestro medio ambiente.

Con investigaciones y experiencias, se puede observar que Guatemala enfrenta grandes problemas, contaminación, pobreza y falta de viviendas que cumplan con todos los requisitos para que pueda ser habitable y es así como llegué a un tema que no solo cumpliera con los requisitos para poder graduarme, sino que me apasiona y deseo lograr para generar un cambio en Guatemala: Uso

de PET como agregado parcial en la mezcla de concreto para la construcción de casas unifamiliares de bajos recursos. Con el objetivo principal de evaluar la implementación de PET triturado en la construcción con concreto como sustituto parcial o total de los agregados, utilizando todas las normas para la realización de las pruebas.

Pude llegar hasta aquí gracias a mi familia, quienes siempre me han ayudado y apoyado con todas mis decisiones. Especial agradecimiento al Ingeniero Gerardo Nochez, por haberme asesorado y guiando durante todo el proceso. A la empresa FORCOGUA, en especial al Ingeniero Daniel Giraldo y Laboratorista Rigoberto Lastro, ya que sin ellos no hubiera podido haber realizado las pruebas experimentales. A los catedráticos y a La Universidad del Valle de Guatemala, gracias por habernos enseñado todo lo necesario para realizar investigaciones que puedan generar un cambio.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>PREFACIO</b> . . . . .	v
<b>LISTA DE CUADROS</b> . . . . .	xi
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> . . . . .	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> . . . . .	<b>4</b>
A    Objetivo general . . . . .	4
B    Objetivos específicos . . . . .	4
<b>V. ALCANCE</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>VI. Viviendas en Guatemala</b> . . . . .	<b>6</b>
A    Marco legal del rol de las municipalidades en la vivienda . . . . .	6
B    Marco legal sobre aspectos financieros de la vivienda . . . . .	6
1    Ley del Impuesto Específico a la Distribución del Cemento (Decreto 79-2000)	6
2    Reglamento de la Ley del Impuesto Específico a la Distribución del Cemen- to (Acuerdo Gubernativo 122-2019) . . . . .	6
C    Marco Jurídico Institucional . . . . .	7
1    Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Comunicaciones, Infraes- tructura y Vivienda (Acuerdo Gubernativo 520-99) . . . . .	7
2    Acuerdo Ministerial 1031 - 2002 de Creación de la Unidad de Desarrollo de Vivienda Popular . . . . .	7
3    Ley de Vivienda (Decreto 9-2012 del Congreso de la República) . . . . .	7
4    Reglamento de la Ley de Vivienda (Acuerdo Gubernativo 312-2012) . . . . .	7
D    Déficit habitacional . . . . .	8
1    Asentamientos . . . . .	9
<b>VII. Construcción en Guatemala</b> .....	<b>10</b>
1    Construcción con adobe .....	10
2    Construcción con bloc .....	10
<b>VIII. Agregados para la mezcla del concreto</b> .....	<b>11</b>

<b>IX. Composición del concreto .....</b>	<b>12</b>
<b>X. Normas .....</b>	<b>13</b>
A    NSE 7.4 Diseño de mampostería reforzada.....	13
B    Normas de planificación y construcción del FHA, Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas.....	13
C    AGIES, Documento de apoyo para autoridades, Guía NSE 2018 .....	13
D    Manual de diseño sismo resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala .....	13
E    Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores	13
F    Terminología referente al concreto y agregados para concreto, NTG 41006 .....	14
G    Práctica estándar para agencias de ensayo de concreto y agregados para concreto para su uso en la construcción y criterios de evaluación para agencias de ensayo, NTG 41045 .....	14
H    Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio NTG 41060.....	14
I    Norma técnica Guatemalteca 41017 h1, Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.....	14
<b>XI. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas del concreto.....</b>	<b>15</b>
A    Prueba de resistencia a la compresión.....	15
B    Prueba de resistencia a flexión .....	15
<b>XII. El plástico .....</b>	<b>16</b>
A    Plástico en ríos y océanos .....	16
1    Plásticos y sus propiedades .....	16
<b>XIII. Vivienda unifamiliar de 1 nivel.....</b>	<b>19</b>
A    Tomando en cuenta la norma FHA para viviendas de 50 m2 y hasta 100 m2 de área construida.....	19
1    Restricciones .....	19
<b>XIV. Materiales utilizados .....</b>	<b>21</b>
A    Arena.....	21
B    Cemento .....	21
C    Piedrín 3/8.....	22
D    Piedrín 3/4.....	22
E    Plástico PET.....	23
F    Aditivo Polyheed 789.....	23
<b>XV. Equipo utilizado.....</b>	<b>24</b>
A    Báscula.....	24
B    Mezcladora del concreto .....	24

C	Equipo para medir asentamiento . . . . .	25
D	Varillas compactadoras . . . . .	25
E	Mazo . . . . .	26
F	Dispositivo para medición de temperatura . . . . .	26
G	Equipo para medir contenido de aire . . . . .	27
H	Moldes cilíndricos . . . . .	27
I	Moldes de viga . . . . .	28
J	Prensa hidráulica . . . . .	28
<b>XVI. Pruebas al concreto .....</b>		<b>29</b>
A	Temperatura .....	29
B	Asentamiento .....	29
C	Contenido de aire .....	29
D	Elaboración y curado de especímenes de ensayo.....	30
E	Resistencia a la compresión, método de ensayo NTG 41017 H1 (ASTM C39/C39M) y NTG 41067 .....	30
<b>XVII. Diseño de concreto utilizando ACI 211.....</b>		<b>31</b>
A	Elección de asentamiento.....	31
B	Elección tamaño máximo de agregado .....	31
C	Cálculo del agua y del contenido de aire .....	31
D	Selección de relación agua/cemento .....	32
E	Cálculo de contenido de cemento .....	32
F	Estimación de porcentaje de agregado grueso y fino.....	32
G	Estimación de la cantidad de agregado fino.....	33
H	Ajuste por humedad del agregado.....	33
<b>XVIII. Mezclas de concreto con PET .....</b>		<b>34</b>
<b>XIX. Resultados de mezclas .....</b>		<b>35</b>
A	Resultados de concreto con 0 % de PET .....	35
B	Resultados de concreto con 10 % de PET sustituyendo piedrín de 3/8 .....	37
C	Resultados de concreto con 20 % de PET sustituyendo piedrín de 3/8 .....	40
D	Resultados de concreto con 30 % de PET sustituyendo piedrín de 3/8 .....	43
E	Resultados de concreto con 40 % de PET sustituyendo piedrín de 3/8 .....	46
F	Resultados de concreto con 50 % de PET sustituyendo piedrín de 3/8 .....	49
G	Resumen de resultados de pruebas a concreto fresco .....	51
H	Resumen de resultados de resistencias a compresión .....	51
I	Resumen de resultados de resistencias a tensión .....	52
<b>XX. Diseño por medio de ETABS .....</b>		<b>53</b>
<b>XXI. Diseño estructural.....</b>		<b>55</b>

A	Diseño de losa .....	55
B	Diseño de viga secundaria .....	60
C	Diseño de viga principal en eje vertical .....	66
D	Diseño de viga principal en eje horizontal.....	73
E	Diseño de columna.....	79
F	Diseño de zapata .....	83
<b>XXII. Análisis y discusión de resultados .....</b>		<b>87</b>
<b>XXIII. CONCLUSIONES .....</b>		<b>89</b>
<b>XXIV.RECOMENDACIONES .....</b>		<b>90</b>
<b>XXV. BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>91</b>
<b>XXVI. APÉNDICES .....</b>		<b>93</b>
<b>XXVII GLOSARIO.....</b>		<b>100</b>

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Tabla de déficit habitacional . . . . .	8
2	Tabla de agregados.....	11
3	Tabla de PET virgen y RPET .....	17
4	Tabla de propiedades de la arena.....	21
5	Tabla de propiedades del cemento .....	21
6	Tabla de propiedades de piedrín 3/8.....	22
7	Tabla de propiedades de piedrín 3/4.....	22
8	Tabla de propiedades del plástico PET.....	23
9	Tabla 9-6 de revenimientos recomendados para varios tipos de construcción. ACI 211.1 . . . . .	31
10	Tabla 9-3 Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a compresión del concreto. ACI 211.1.....	32
11	Tabla de proporciones de materiales para mezcla de 1m <sup>3</sup> de concreto .....	34
12	Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 0 % de PET.....	35
13	Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m <sup>3</sup> para mezcla de concreto con 0 % de PET.....	35
14	[Resultados del concreto fresco para mezcla con 0 % de PET.....	35
15	[Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 0 % de PET .	37
16	Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 10 % de PET.....	37
17	Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m <sup>3</sup> para mezcla de concreto con 10 % de PET.....	38
18	[Resultados del concreto fresco para mezcla con 10 % de PET.....	38
19	[Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 10 % de PET .	39
20	Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 20 % de PET.....	40
21	Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m <sup>3</sup> para mezcla de concreto con 20 % de PET.....	40
22	[Resultados del concreto fresco para mezcla con 20 % de PET.....	41
23	[Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 20 % de PET .	42
24	Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 30 % de PET.....	43
25	Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m <sup>3</sup> para mezcla de concreto con 30 % de PET.....	43
26	[Resultados del concreto fresco para mezcla con 30 % de PET.....	44
27	[Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 30 % de PET .	45
28	Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 40 % de PET.....	46
29	Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m <sup>3</sup> para mezcla de concreto con 40 % de PET.....	46
30	[Resultados del concreto fresco para mezcla con 40 % de PET.....	47
31	[Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 40 % de PET .	48

32	Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 50 % de PET .....	49
33	Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m <sup>3</sup> para mezcla de concreto con 50 % de PET .....	49
34	[Resultados del concreto fresco para mezcla con 50 % de PET.....	50
35	[Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 50 % de PET .	51
36	[Resumen de resultados del concreto fresco .....	51
37	[Resumen de promedio de resultados. Prueba a compresión .....	51
38	[Resumen de resultados. Prueba a tensión.....	52
39	Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 10 % de PET, sustituyendo arena.....	93
40	Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m <sup>3</sup> para mezcla de concreto con 10 % de PET, sustituyendo arena. ....	93
41	[Resultados del concreto fresco para mezcla con 10 % de PET, sustituyendo arena .	93
42	[Resultados de pruebas a compresión para concreto con 10 % de PET sustituyendo arena.....	94

## LISTA DE GRÁFICOS

Ilustración	Página
1	Unidad estructural del PET (Córdoba, 2015)..... 17
2	Proceso para el reciclaje del PET(Córdoba, 2015)..... 17
3	Dimensiones mínimas, sin incluir gruesos de muros, enlucidos, o espacios para closet, extraído de (FHA, s.f.) ..... 19
4	Superficies mínimas (m2), tomando en cuenta una vivienda con sala, combinación cocina-comedor, dormitorios, extraído de (FHA, s.f.)..... 19
5	Planta de vivienda unifamiliar. Elaboración propia..... 20
6	Agregado: Arena ..... 21
7	Cemento ..... 21
8	Agregado: Piedrín de 3/8 ..... 22
9	Agregado: Piedrín de 3/4 ..... 22
10	Apariencia del PET utilizado ..... 23
11	Aditivo Polyheed ..... 23
12	Báscula ADAM CPW plus-35 utilizada para la realización de los ensayos. .... 24
13	Mezcladora de concreto UMACON..... 24
14	Equipo utilizado para la mezcla del concreto..... 24
15	Cono de Abrams utilizado para la realización de los ensayos. .... 25
16	Varilla utilizada para compactar..... 25
17	Varilla utilizada para compactar..... 25
18	Mazo utilizado en los ensayos..... 26
19	Dispositivo para medición de temperatura Cooper-Atkins DFP450W..... 26
20	Recipiente de medición ..... 27
21	Presurometro ..... 27
22	Moldes de cilindros ..... 27
23	Molde de viga ..... 28
24	Máquina de ensayo HUMBOLDT ..... 28
25	Tabla 9-5 Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado. ACI 211.1..... 32
26	Tabla 9-4 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. ACI 211.1 . . . . . 33
27	Estimación de pesos del concreto mezclado fresco..... 33
28	Estimación de pesos del concreto mezclado fresco..... 33
29	Asentamiento sin aditivo de concreto con 0 % de PET ..... 36
30	Asentamiento con aditivo en concreto con 0 % de PET ..... 36
31	Temperatura de concreto con 0 % de PET..... 36
32	Peso de concreto con 0 % de PET..... 36
33	Porcentaje de aire de concreto con 0 % de PET..... 37
34	Asentamiento con aditivo en concreto con 10 % de PET ..... 38

35	Porcentaje de aire de concreto con 10 % de PET .....	38
36	Temperatura de concreto con 10 % de PET .....	39
37	Peso de concreto con 10 % de PET .....	39
38	Cilindro 1. Resistencia a compresión a los 28 días con 10 % de PET.....	39
39	Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 10 % de PET.....	39
40	Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 10 % de PET.....	40
41	Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 10 % de PET.....	40
42	Asentamiento sin aditivo de concreto con 20 % de PET.....	41
43	Asentamiento con aditivo en concreto con 20 % de PET.....	41
44	Temperatura de concreto con 20 % de PET .....	41
45	Peso de concreto con 20 % de PET .....	41
46	Porcentaje de aire de concreto con 20 % de PET .....	42
47	Cilindro 1. Resistencia a compresión a los 28 días con 20 % de PET.....	42
48	Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 20 % de PET.....	42
49	Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 20 % de PET.....	43
50	Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 20 % de PET.....	43
51	Asentamiento sin aditivo de concreto con 30 % de PET.....	44
52	Asentamiento con aditivo en concreto con 30 % de PET.....	44
53	Temperatura de concreto con 30 % de PET .....	44
54	Peso de concreto con 30 % de PET .....	44
55	Porcentaje de aire de concreto con 30 % de PET .....	45
56	Cilindro 1. Resistencia a compresión a los 28 días con 30 % de PET.....	45
57	Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 30 % de PET.....	45
58	Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 30 % de PET.....	46
59	Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 30 % de PET.....	46
60	Asentamiento sin aditivo de concreto con 40 % de PET.....	47
61	Asentamiento con aditivo en concreto con 40 % de PET.....	47
62	Temperatura de concreto con 40 % de PET .....	47
63	Peso de concreto con 40 % de PET .....	47
64	Porcentaje de aire de concreto con 40 % de PET .....	48
65	Cilindro 1. Resistencia a compresión a los 28 días con 40 % de PET.....	48
66	Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 40 % de PET.....	48
67	Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 40 % de PET.....	49
68	Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 40 % de PET.....	49
69	Asentamiento sin aditivo de concreto con 50 % de PET.....	50
70	Asentamiento con aditivo en concreto con 50 % de PET.....	50
71	Temperatura de concreto con 50 % de PET .....	50
72	Peso de concreto con 50 % de PET .....	50
73	Porcentaje de aire de concreto con 50 % de PET .....	51
74	Formula para obtener el módulo de elasticidad del concreto conforme ACI 318. Obtenido de NSE 7.4-2018.....	53
75	Configuración en ETABS de propiedades para concreto con 10 % de PET.....	53

76	Configuración en ETABS de propiedades para acero .....	54
77	Diseño de losa, parte 1 .....	55
78	Diseño de losa, parte 2 .....	56
79	Diseño de losa, parte 3 .....	57
80	Diseño de losa, parte 4 .....	58
81	Diseño de losa, parte 5 .....	59
82	Diseño de viga secundaria, parte 1.....	60
83	Diseño de viga secundaria, parte 2.....	61
84	Diseño de viga secundaria, parte 3.....	62
85	Diseño de viga secundaria, parte 4.....	63
86	Diseño de viga secundaria, parte 5.....	64
87	Diseño de viga secundaria, parte 6.....	65
88	Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 1 .....	66
89	Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 2 .....	67
90	Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 3 .....	68
91	Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 4 .....	69
92	Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 5 .....	70
93	Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 6 .....	71
94	Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 7 .....	72
95	Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 1 .....	73
96	Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 2 .....	74
97	Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 3 .....	75
98	Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 4 .....	76
99	Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 5 .....	77
100	Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 6 .....	78
101	Diseño de columna, parte 1.....	79
102	Diseño de columna, parte 2.....	80
103	Diseño de columna, parte 3.....	81
104	Diseño de columna, parte 4.....	82
105	Diseño de zapata, parte 1 .....	83
106	Diseño de zapata, parte 2 .....	84
107	Diseño de zapata, parte 3 .....	85
108	Diseño de zapata, parte 4 .....	86

## RESUMEN

En Guatemala muchas familias habitan en casas con malas condiciones y cada año en vez de ir disminuyendo el déficit habitacional, aumenta 2 por ciento, "Guatemala puede aprovechar el proceso de urbanización para encontrar soluciones que permitan reducir el déficit habitacional y ofrecer vivienda con servicios básicos para una familia"(Rodríguez, 2020). Es por esta razón que es necesario ponerle atención a las grandes problemáticas a las que nos enfrentamos en la actualidad, la contaminación y tener viviendas dignas para la población de Guatemala.

El siguiente documento trata sobre el uso de fibras PET en la construcción con concreto como sustituto parcial de los agregados para viviendas unifamiliares de bajos recursos, con el objetivo de dar una posible solución para disminuir la contaminación proveniente de la enorme producción de plástico. Dentro de la investigación se describen las diferentes propiedades y características del PET y la metodología a utilizar para cumplir con los objetivos propuestos, así como la descripción de cada uno de los ensayos necesarios para determinar cómo esta variación en porcentajes de los agregados con PET afecta las propiedades mecánicas del concreto: resistencia a compresión y flexión.

El plástico PET es el más utilizado en el mundo ya que es muy resistente al desgaste, a los productos químicos, al fuego, etc. Según (Madrigal, 2011) desde el punto de vista ambiental, es un material ideal para reciclarlo ya que al ser fabricado consume mucha energía en su proceso de incineración. Para utilizar el plástico en la mezcla del concreto, es necesario que lleve un proceso de limpieza para que no exista ninguna impureza que afecte la composición del concreto y así mismo se pueda adherir de una buena manera.

Para la investigación, se harán diferentes pruebas con diferentes porcentajes de plástico PET, para comparar los resultados con una muestra que no contenga ningún porcentaje de PET y así mismo ver cómo afecta en sus propiedades mecánicas este agregado parcial. Al obtener el porcentaje indicado, se realizarán los cálculos necesarios para el diseño de una casa de un nivel y así mismo determinar si el uso del PET es factible.



## I. INTRODUCCIÓN

"¿Quién es un ingeniero? Alguien que convierte lo difícil en rutina y hace que lo imposible sea probable". (anónimo) En la historia de la construcción, podemos ver cómo las primeras viviendas utilizaban materiales naturales como madera, ladrillos de adobe y arcilla, luego, empezaron a emplear la piedra, mármol para luego llegar a una actualidad donde el método más común es concreto; una mezcla de cemento, agua y agregados combinándolo con acero como refuerzo. Este trabajo de graduación, tiene como objetivo seguir innovando en los materiales de construcción e incorporar un material que tenemos en abundancia y que al mismo tiempo, está dañando el medio ambiente: el plástico PET.

Guatemala es un país muy rico en sus recursos naturales, pero cuenta con dos graves problemas: la contaminación y la extrema pobreza. Las personas con bajos recursos no tiene acceso a alimentación, servicios básicos y menos a una vivienda que cumpla con las características para ser considerada habitable. El sistema político no cuenta con las normas ni leyes necesarias para ayudar a estas personas y así mismo se ven marginados del circuito económico, no teniendo ni siquiera la oportunidad de salir de la pobreza.

La salud es lo primordial en una comunidad para su desarrollo, y está comprobado que con solo tener un piso de cemento, disminuye en 75 por ciento las visitas a centros de salud. El plástico también afecta nuestra salud, ya que es un material que se llega a descomponer en mil años y se ha producido en cantidades masivas a tal punto que se encuentra en todos los cuerpos de agua afectando nuestros ecosistemas. También afecta a los animales, que en algún punto, llegan a ser consumidos por el ser humano, provocando enfermedades cardiovasculares por la ingesta de micro-plásticos.

Es por esos motivos que es necesario involucrarse en el desarrollo del país, presentando soluciones para los problemas que enfrentamos en la actualidad. En el desarrollo del trabajo, se demuestran las diferentes mezclas de concreto, tomando en cuenta diferentes porcentajes de PET, para luego ser ensayadas a compresión y flexión para determinar la mezcla que cumpla con la resistencia para la construcción de una vivienda unifamiliar de un nivel, diseñada con las normas especificadas, con las dimensiones necesarias y con los servicios básicos, tomando en cuenta un promedio de personas por familia de 4.55.

## II. ANTECEDENTES

En la Ingeniería Civil se ha ido innovando con modificar la mezcla tradicional del concreto, al agregarle diferentes aditivos y materiales para mejorar sus características y así mismo hacerlo más liviano o aumentar su resistencia. En los últimos años, según (Jaivignesh & Sofi, 2017), la implementación del plástico triturado ha aumentado drásticamente ya que tiene ventajas en términos ambientales. El plástico se puede incinerar con recuperación de energía, si el reciclado del material no es factible. La contaminación del aire puede provocar y producir lluvia ácida debido a la incineración de residuos.

Investigaciones pasadas determinan que la sustitución parcial de plástico en las mezclas de concreto puede mejorar propiedades como la resistencia al impacto, resistencia a la abrasión, la ductilidad y la conductividad térmica, pero, también se ha demostrado que causa cierta reducción en las propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión, tracción dividida y flexión. (Jaivignesh & Sofi, 2017)

Por lo mencionado anteriormente, se debe considerar en qué área se podría aplicar dependiendo de los resultados de resistencias que se obtengan. Al llegar a una resistencia mínima de 3,000 psi, se podría considerar para la construcción de viviendas unifamiliares de 1 nivel para personas con bajos recursos. La importancia de realizar este proyecto en Guatemala es por la necesidad de trasladar a las personas que viven en asentamientos, a viviendas que cumplan con todos los requisitos para ser considerada habitable. Según La República de Guatemala (2012), un asentamiento es un conjunto de familias en condiciones de pobreza y pobreza extrema que habitan en áreas con deficiencias en vivienda, servicios, equipamiento y que se encuentran asentados en terrenos no aptos. Es importante notar que, más del 50 % de los asentamientos se encuentran emplazados en terrenos de propiedad estatal, cuyos usos previos correspondían a áreas verdes, forestales o baldíos sin uso.

### III. JUSTIFICACIÓN

La construcción con concreto en Guatemala ha ido creciendo con el paso de los años y como toda industria, ha buscado cómo innovar en diferentes aspectos. Desde innovación en materiales como concreto traslúcido, hasta maquinaria inteligente la cual puede construir una casa en dos días. El siguiente trabajo tiene como objetivo principal implementar las fibras poliméricas recicladas, PET, en la construcción con concreto como sustituto parcial de los agregados, para viviendas unifamiliares de bajos recursos.

Una de las razones para implementar plástico reciclado en la construcción es para “contrarrestar” la contaminación que genera tanto la producción del concreto como el plástico. Desde el año 1950 hasta la actualidad, se han fabricado aproximadamente 8,3 mil millones de toneladas de plástico, de las cuales 13 millones de toneladas se van al océano cada año. (El Periódico, 2018). Guatemala es uno de los países que aporta una gran cantidad de contaminación y una solución a esta problemática podría estar relacionada a esta propuesta.

Ya que por mucho tiempo se estuvo trabajando el concreto con áridos como agregado, es indispensable realizar ensayos y determinar como afecta el PET las propiedades mecánicas del concreto y comparar dichos resultados para ver si en realidad ésta es una solución viable.

La contaminación por el plástico no es el único problema que enfrenta Guatemala, miles de familias luchan por tener acceso a una vivienda digna. Los primeros asentamientos se originaron por los terremotos de los años 1917 y 1918 ya que hubo una crisis financiera en el país, por lo que para el censo realizado en el año 2015 por "Techo por Guatemala", contabilizaron 157 asentamientos solamente en la capital (Rodríguez, 2020).

En el país se carecen de opciones de financiamiento de vivienda para familias en condiciones de pobreza. Los sectores privado y financiero no han priorizado la atención de la vivienda para familias en condiciones de pobreza, relacionado a que invertir en los segmentos económicos bajos se considera incierto, con poca información y sin incentivos para dicha inversión' (CIV *et al.*, 2020). Es por esta razón que es necesario tomar la iniciativa para proponer proyectos con el objetivo de solucionar problemas, siempre agregando ideas innovadoras para hacerlas atractivas y así mismo llamar la atención de los inversionistas.

## **IV. OBJETIVOS**

### **A. Objetivo general**

Evaluar la implementación de las fibras poliméricas recicladas, PET en la construcción con concreto como sustituto parcial o total de los agregados, para viviendas unifamiliares de bajos recursos.

### **B. Objetivos específicos**

- Identificar cómo afecta el PET las propiedades mecánicas del concreto.
- Comparar la resistencia, por medio de ensayos, entre un concreto de 3,000 PSI sin ninguna proporción de polímeros con uno que contenga diferentes porcentajes de PET.
- Determinar el porcentaje de PET adecuado para resistir cargas de una casa unifamiliar de un nivel.
- Desarrollar un diseño de una casa de un nivel y realizar los cálculos estructurales utilizando los datos obtenidos de los ensayos realizados previamente.

## V. ALCANCE

Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar la implementación del plástico PET en la construcción con concreto como sustituto parcial de los agregados, para viviendas unifamiliares de bajos recursos. Por medio de investigaciones, se ha determinado que el plástico ha llegado a contaminar nuestros ecosistemas, así mismo afectando todo ser vivo. Por lo que, esta investigación podría ser una posible solución para reducir el impacto ambiental negativo que ha tenido la producción masiva de este material.

Mediante la elaboración de mezclas de concreto con 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % y 50 % de PET, sustituyendo el pedrín de 3/8, se identificará cómo afecta el PET las propiedades mecánicas del concreto a través de pruebas al concreto fresco y ensayos a compresión y tensión, siempre siguiendo las normas necesarias para obtener resultados confiables y verídicos.

Comparar la resistencia, una vez obtenidos los resultados de los especímenes cilíndricos de 6 x 12 pulgadas y viga de 21 x 6 x 6 pulgadas, entre un concreto de 3,000 PSI sin ninguna proporción de polímeros con las demás mezclas con diferentes porcentajes de PET, para determinar el porcentaje adecuado para resistir cargas de una casa unifamiliar de un nivel.

## **VI. Viviendas en Guatemala**

En Guatemala miles de familias viven en condiciones precarias, es decir, en viviendas que carecen de características para ser consideradas dignas. 'Eduardo Tabush, especialista en financiamiento de vivienda en mercados, indicó que solo con poner un piso de cemento disminuye en 75 por ciento las visitas a centros de salud. También, el niño que crece en una vivienda adecuada tiene 40 por ciento más posibilidades de avanzar en su nivel educativo' (Rodríguez, 2020). En el censo del 2018, Guatemala, teniendo un total de 3,275,931 hogares aproximadamente con 4.55 personas por hogar, cuenta con 1.6 millones de familias viviendo en condiciones inadecuadas. Según (CIV *et al.*, 2020) el sector público construye cerca de 4,000 viviendas sociales al año. Los recursos para financiar el sector de vivienda, proviene principalmente del presupuesto en el Estado. Se puede observar cómo el Gobierno Nacional no le ha dado la importancia necesaria a esta problemática ya que en el año 2012 se tenían recursos para 17.137 subsidios y en el año 2015 disminuyó a 4.632, siendo un grave problema ya que el déficit habitacional aumenta cada año. (Bank, 2017) Para entender mejor, es necesario analizar el marco jurídico institucional y cómo regulan las viviendas en Guatemala.

### **A. Marco legal del rol de las municipalidades en la vivienda**

'El artículo 119 literal g de la Constitución Política de la República de Guatemala, plantea la obligación del Estado de promover programas y proyectos de vivienda para que la mayoría de las familias guatemaltecas puedan tener acceso a ella' (CIV *et al.*, 2020).

Cada municipalidad desarrolla sus propios reglamentos, en donde describen las normativas de construcción y ordenamiento territorial, también definen la gestión relacionada a la vivienda. Así mismo, la Ley de Vivienda brinda distintas metas y competencias a los municipios para el desarrollo habitacional. En distintos artículos, se definen las responsabilidades de las municipalidades, como el de abastecer con agua potable las viviendas, construcción de caminos, pavimentaciones, autorización de licencias de construcción y por medio de tendencias de crecimiento y el desarrollo urbanístico, definir los usos del suelo. (CIV *et al.*, 2020).

### **B. Marco legal sobre aspectos financieros de la vivienda**

#### **1. Ley del Impuesto Específico a la Distribución del Cemento (Decreto 79-2000).**

Según esta ley, en el artículo dos, se dicta que la recaudación de los fondos por el Impuesto Específico a la Distribución del Cemento, se dirigen exclusivamente para el financiamiento de viviendas populares. Las proporciones son las siguientes: cuarenta y dos punto cinco kilogramos con una tarifa de un quetzal con cincuenta centavos, donde se puede ver que no hay cumplimiento de la norma, ya que en comparación con los montos recaudados, no se cuenta con los fondos del presupuesto ordinario.

#### **2. Reglamento de la Ley del Impuesto Específico a la Distribución del Cemento (Acuerdo Gubernativo 122-2019).**

Este reglamento establece el mecanismo para la asignación de los fondos recaudados por el Impuesto Específico a la Distribución del Cemento, teniendo el Estado como obligación el crear una

cuenta específica para las viviendas y así estos depósitos no se hacen al Fondo Común para que no haya dificultad para su determinación y transferencia posteriormente. (CIV *et al.*, 2020).

### **C. Marco Jurídico Institucional**

#### **1. Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (Acuerdo Gubernativo 520-99).**

'De acuerdo con la Ley de Vivienda, el ente rector debe promover y facilitar el desarrollo habitacional del país y su ordenamiento territorial por medio de las unidades administrativas que se definan para el efecto' (CIV *et al.*, 2020). El CIV plantea la importancia de fortalecer el área de administración para contar con una organización capaz de liderar e integrar los programas, planes, políticas para combatir contra el déficit habitacional. La necesidad se demuestra por medio de la evidencia en el sector al darle prioridad a la construcción de infraestructura vial y de comunicación.

#### **2. Acuerdo Ministerial 1031 - 2002 de Creación de la Unidad de Desarrollo de Vivienda Popular.**

Este acuerdo crea la UDEVIPO, Unidad de Desarrollo de Vivienda Popular, responsables de desarrollar planes, proyectos de viviendas populares, tomando en cuenta los proyectos ejecutados por el Banco Nacional de la Vivienda. "La UDEVIPO fue creada para trasladar los procesos pendientes de finalización provenientes del proceso de liquidación del BANVI, con las siguientes atribuciones: a) recaudar las amortizaciones pendientes de pago de las viviendas financiadas a través de créditos de dicho banco y diligenciar los procesos administrativos y judiciales en contra de adjudicatarios de vivienda con créditos en mora para ejecutar las garantías hipotecarias de los mismos; y b) la legalización, adjudicación y escrituración del suelo ocupado ilegalmente en asentamientos precarios con vocación habitacional, a favor de adjudicatarios favorecidos con créditos del BANVI"(CIV *et al.*, 2020).

#### **3. Ley de Vivienda (Decreto 9-2012 del Congreso de la República).**

Por medio de esta ley se puede obtener una definición de una vivienda digna la cual funciona como un espacio de refugio segura y siempre cumpliendo con las características generales como los espacios habitables, la estructura y diseño. Así como la importancia de tener cerca centros de salud, educación, comercio y servicios básicos para su desarrollo integral. Se establece que los proyectos de vivienda deben garantizar el Desarrollo sostenible, económico y ambiental de los procesos de producción habitacional, con el objetivo de preservar los recursos con visión al futuro.

#### **4. Reglamento de la Ley de Vivienda (Acuerdo Gubernativo 312-2012).**

Este reglamento es el documento principal para poder ejecutar y operar la Ley de Vivienda, sin embargo, no contiene la información necesaria para tomar en cuenta los retos administrativos y gestión de proyectos de vivienda. Por ejemplo, no se detalla la información relacionada con el ordenamiento territorial, planificación urbana, medios de acceso para el financiamiento de la vivienda, así, impidiendo el desarrollo de los programas de los actores importantes para la generación de viviendas.

#### D. Déficit habitacional

Según una encuesta realizada en el año 2014 sobre las condiciones de vida en Guatemala a Encovi, 59.3 por ciento de la población vive en pobreza y 15.3 por ciento en extrema pobreza. Esto conlleva a tener un déficit habitacional que alcanza el 90 por ciento. (Velasco, 2020). En Guatemala se registraron 297 asentamientos precarios en 15 de las 23 zonas que integran la ciudad. Según la Ley de Vivienda, 2012, define los asentamientos humanos precarios como el “conjunto de familias en condiciones de pobreza y pobreza extrema que habitan en áreas con deficiencias en vivienda, servicios, equipamiento y que se encuentran asentados en terrenos no aptos”. A continuación se muestra una tabla con la tasa de crecimiento anual y el crecimiento del déficit habitacional por año.

Años que calcular	Tasa de crecimiento anual (0.0295)	Crecimiento del déficit habitacional por año	Línea Base 2011 (1,424,330) Proyecciones	Meta de país	Cantidad de unidades que debían ejecutarse tomando de base el	Déficit de vivienda esperado después de la intervención	Brecha con el dato proyectado por año
2016	0.0295	47,200	1,647,185				
2017	0.0295	48,592	1,695,777	Al 2017 se ha reducido en 1.66% el déficit habitacional a nivel nacional.	27,343	1,619,842	75,935
2018	0.0295	50,025	1,745,802	Al 2018 se ha reducido en 3.51% el déficit habitacional a nivel nacional.	57,816	1,562,026	183,777
2019	0.0295	51,501	1,797,304	Al 2019 se ha reducido en 4% el déficit habitacional.	65,887	1,496,138	301,165
2020	0.0295	53,020	1,850,324				

Cuadro 1:

*Tomado de la ficha técnica indicador: Déficit Habitacional. SEGEPLAN-CIV 2019. (CIV, 2020)*

Un hogar que se sostiene con ingresos mensuales iguales o menores a dos salarios mínimos, es considerado con extrema pobreza y es donde se registra el 84.4 por ciento del déficit. Las familias con ingresos menores a cuatro salarios mínimos obtienen el 35 por ciento de las soluciones habitacionales existentes y el 10 por ciento de crédito disponible por medio de cooperativas de ahorro, considerados por los bancos comerciales como clientes de alto riesgo ya que se encuentran dentro de la economía informal, teniendo una inestabilidad en sus ingresos y, por lo tanto, con mayor dificultad para pagar los créditos. Se ve una diferencia muy grande en los beneficios de la población, ya que los hogares con ingresos equivalentes a cuatro o más salarios mínimos cuentan con el 65 por ciento de las soluciones habitacionales existentes y el 90 por ciento de créditos en los bancos.

Debido a las familias afectadas por el Covid-19, el Congreso de la República de Guatemala, creó la iniciativa 4818: Ley de Interés Preferencial para Facilitar el Acceso a la Vivienda Social, siendo una propuesta prioritaria la cual beneficiara a aproximadamente 400 mil familias. Esta iniciativa

tiene como objetivo: crear las bases institucionales, técnicas, sociales y financieras que permitan el acceso a una vivienda digna mediante la institucionalización y regulación de un mecanismo que fomente la adquisición de vivienda para uso habitacional denominado, tasa de interés preferencial para préstamos hipotecarios"(Velasco, 2020).

Es necesario definir la diferencia entre un Déficit habitacional cualitativo y Déficit habitacional cuantitativo. El déficit cuantitativo es la diferencia entre la cantidad de hogares y las unidades habitacionales disponibles, siendo este el número necesario para saber cuántas viviendas serían necesarias construir. Mientras que un déficit cualitativo se toman medidas sobre la calidad de la vivienda, tomando en cuenta los materiales de construcción, el espacio habitado y los servicios básicos. En toda Guatemala se presenta un déficit cualitativo alto el cual se puede ver claramente en los asentamientos.

## **1. Asentamientos .**

La cantidad de Asentamientos Precarios que hay solamente en la ciudad de Guatemala es preocupante. El 53 por ciento de los asentamientos tienen conexión a la red general de drenajes. El 60 por ciento de las descargas de aguas pluviales y aguas negras, se realiza directamente a los barrancos y el 30 por ciento a los ríos y canales. No solamente causan un daño al medio ambiente si no que las personas no viven en un lugar que sea bueno para su salud y las condiciones de los terrenos tienen bastante riesgo ya que en cualquier momento se pueden derrumbar las viviendas por la mala infraestructura. (Mejia *et al.*, 2006).

## **VII. Construcción en Guatemala**

Nosotros, como seres humanos, vamos evolucionando con el paso del tiempo, así mismo son las comunidades, ciudades, países, continentes. Guatemala ha ido evolucionando con los materiales de construcción, teniendo un desarrollo arquitectónico, cultural e histórico. Debido a que Guatemala está ubicada en una zona altamente sísmica, con tres placas tectónicas: Cocos, Caribe y Norteamérica, se ha visto en la necesidad de estudiar las edificaciones y así mismo mejorarlas para soportar estos movimientos.

Para el año 1973, según González (2014), en Prensa Libre: 'El Censo Nacional de Habitación contabilizó un millón 13 mil 817 viviendas, de las cuales solo el 8.61 por ciento estaba construido con ladrillo o bloc. Más del 90 por ciento de las casas estaban edificadas con adobe (39.2 por ciento), madera (17.1 por ciento), Bajareque (11 por ciento), lepa, palo o cañas (22.4 por ciento) y otros materiales (1.6 por ciento). Fue hasta el año 1994 donde el bloc, el ladrillo y el concreto empezaron a llevar la delantera en los materiales más utilizados, y para los techos, en el 2002 la lámina metálica fue utilizada un 67.3 por ciento, mientras que con fundición de concreto solamente el 14.6 por ciento'.

### **1. Construcción con adobe.**

El Adobe es un material compuesto por tierra, arcilla compactada, mezclada con fibra vegetal, moldeada en forma de bloques y puesto al sol para llevar un secado. Debido a que se utilizan los materiales locales, muchas veces se fabrican con limo, en vez de arcilla y a la vez, por las proporciones de sus materiales, no logra adaptar la consistencia y solidez necesaria para soportar los movimientos sísmicos y así mismo tiene un deterioro con el paso de los años. Un error cometido frecuentemente es el de tratar de reforzar las paredes de adobe con bloc, cemento o hierro, cuando estos no son compatibles. (CONRED, s.f.)

### **2. Construcción con bloc.**

Debido a sus características Sismorresistentes, la construcción con mampostería reforzada es la más popular en la actualidad. Lastimosamente, por el alto índice de crecimiento habitacional, las poblaciones se han visto con la necesidad de construir más pisos de los que la estructura es capaz de soportar y así mismo teniendo una configuración estructural mala.

### VIII. Agregados para la mezcla del concreto

Los agregados para la mezcla del concreto se pueden clasificar según su origen, los agregados naturales con aquellos que se encuentran en la corteza terrestre, y son generadas por el mismo movimiento que conllevan ya sea por el viento o por la corriente en un cuerpo de agua y también se pueden obtener por un proceso de trituración, obteniendo arena y grava. Al clasificarse por su tamaño, obtenemos un agregado fino, el cual pasa por un tamiz No.4 y el mayor porcentaje contiene partículas menores a los 4.75 mm. Los agregados gruesos son lo contrario a la arena, siendo el 95 por ciento de sus partículas mayores a los 4.75 mm. (Soto, 2008)

Tamiz	Porcentaje que pasa a través
3/8"	100 %
No.4	95 a 100 %
No.8	80 a 100 %
No.16	50 a 85 %
No.30	25 a 60 %
No.50	5 a 30 %
No.100	0 a 10 %

Cuadro 2

*Tabla de granulometría de la arena y porcentaje que atraviesa cada tamiz*

## **IX. Composición del concreto**

El concreto es un material compuesto por agregados granulares, cemento y agua. Los agregados normalmente son de origen natural, como por ejemplo arena, grava, rocas de ríos u otro agregado para mejorar las propiedades del concreto. Los agregados deben variar en tamaño, desde una fracción gruesa hasta una fina. Las principales propiedades del concreto son su alta resistencia a la compresión y baja resistencia a la tensión.

El Concreto reforzado es una combinación de concreto y acero en la cual el refuerzo de acero proporciona la resistencia a tensión y compresión. Las ventajas del concreto reforzado como material estructural es que tiene alta rigidez, necesita poco mantenimiento, puede ser colado en diferentes formas, resistente al fuego y agua y es el único material económico para hacer estructuras debajo de la tierra. Mientras que las desventajas son que requiere el uso de formaleta para mantenerlo en su posición, requiere apuntalamiento y es una mezcla no homogénea.

## **X. Normas**

Existen diferentes normas para la construcción de Viviendas unifamiliares en Guatemala, las cuales regulan desde la mezcla de concreto, su composición, los ensayos y el equipo necesario, entre ellas podemos mencionar:

### **A. NSE 7.4 Diseño de mampostería reforzada**

Esta norma de seguridad tiene como alcance los requerimientos para el diseño estructural y construcción con mampostería utilizando refuerzo confinante. Establece que se utilizan elementos de concreto incorporados en las paredes. Estos elementos son horizontales y verticales ubicados en los lugares que dicte el cálculo sismo-resistente. (AGIES, 2018c).

### **B. Normas de planificación y construcción del FHA, Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas**

‘Estas normas contienen requisitos mínimos de observancia obligatoria y recomendaciones de convivencia práctica’(FHA, s.f.). Tienen como objetivo principal evitar y prevenir construcciones defectuosas aunque estén ubicadas en lugares con las condiciones no tan convenientes. Para asegurar la hipoteca tanto el terreno como la construcción deben de cumplir con ciertos requisitos. El terreno debe contar con vías de comunicación y acceso adecuado, no debe presentar riesgos de inundación, deslaves, erosiones, derrumbes, etc. La construcción debe cumplir con las condiciones estructurales adecuadas para durar con un bajo costo de mantenimiento.

### **C. AGIES, Documento de apoyo para autoridades, Guía NSE 2018**

Este documento define los procedimientos necesarios y lo esencial para un informe definido a continuación (AGIES, 2018b): - Descripción del sistema estructural usado - Descripción del sistema sismo-resistente - Cargas verticales muertas y de ocupación - Calculo de fuerzas sísmicas y de viento - Descripción del tipo de análisis estructural utilizado - Verificación del cumplimiento por derivas máximas - Parámetros de modelaje de respuesta sísmica

### **D. Manual de diseño sismo resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala**

El propósito de este manual es para diseñar edificaciones con block, desde uno a tres niveles y que sean seguras y resistentes a sismos de alta magnitud. AGIES es la entidad que promueve este manual con el fin de indicar los pasos necesarios y básicos para planear la edificación deseada de mampostería de block de concreto con refuerzo. (Monzón, 2014)

### **E. Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores**

Esta cartilla trata principalmente sobre los conceptos y lineamientos básicos para elegir de manera efectiva el sitio para ubicar una vivienda y el diseño estructural a utilizar. También describe las

amenazas geológicas, socio-económicas e hidro meteorológicas. (AGIES *et al.*, 2015)

#### **F. Terminología referente al concreto y agregados para concreto, NTG 41006**

Esta norma brinda las definiciones adecuadas para cada elemento necesario en la realización de una mezcla de concreto. La importancia de esta norma es para poder diferenciar entre los diferentes agregados, así como aditivos y también sus términos para poder ser empleados de una manera adecuada. (COGUANOR, s.f.-h)

#### **G. Práctica estándar para agencias de ensayo de concreto y agregados para concreto para su uso en la construcción y criterios de evaluación para agencias de ensayo, NTG 41045**

'Esta práctica identifica y define las obligaciones, responsabilidades y los requisitos técnicos mínimos del personal de la agencia de ensayo y los requisitos técnicos mínimos de los equipos utilizados en ensayos de concreto y agregados para concreto para su uso en la construcción' (COGUANOR, 2015). Al momento de realizar las mezclas de concreto, es de suma importancia la inspección del mismo y de sus agregados ya que son necesarios para obtener la calidad en la construcción, razón por la cual se debe seleccionar una agencia de ensayo que proporcione estos servicios y esté calificada.

#### **H. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio NTG 41060**

COGUANOR (s.f.-f), dicta los procedimientos para preparar y curar los cilindros de concreto para ensayo en el laboratorio. "Los moldes para la realización de los especímenes deben ser de acero, hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con el concreto que contenga cemento portland u otros cementos hidráulicos". Las varillas compactadoras deben ser de acero cilíndrica, recta con por lo menos un extremo redondeado. Los mazos deben ser con cabeza de hule o cuero crudo. Los aparatos para medir asentamiento deben cumplir con los requisitos del Método de Ensayo C143/C143M, (INTERNATIONAL, s.f.-d). Los requisitos del aparato para medir el contenido de aire se muestra en los Métodos de Ensayo C231/C173, (INTERNATIONAL, s.f.-b). Los dispositivos para medición de temperatura tienen requisitos descritos en los Métodos de Ensayo C1064, (INTERNATIONAL, s.f.-c). La mezcladora de concreto debe tener un tambor giratorio, inclinable, capaz de mezclar por completo la mezcla hasta llegar al asentamiento requerido.

#### **I. Norma técnica Guatemalteca 41017 h1, Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto**

Esta norma nacional, (COGUANOR, 2017), se basa en la norma ASTM C 39/C39M-17b, y el método de ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Los resultados obtenidos, ayudan como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto. Dentro de esta norma, se especifican los requisitos que debe tener la máquina de ensayo, documentación de la calibración, mantenimiento, medidas, entre otros. También se especifican tanto los requisitos de los especímenes, como el procedimiento que se debe llevar para ensayarlos, las tolerancias, cálculos y precisiones.

## **XI. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas del concreto**

Según ACI (2010) : se debe probar una muestra a los 7 días para obtener información, y probar un mínimo de dos muestras a los 28 días para su aceptación, a menos que se especifique lo contrario. Los resultados de la prueba de resistencia a la compresión para la aceptación será el promedio de las resistencias a la compresión de las muestras analizadas a los 28 días. El resultado de 7 días es solo para información, por lo que no hay responsabilidad contractual por ese resultado. Además, solo se prueba un cilindro a los 7 días, por lo que el resultado no cumple con la siguiente definición de una prueba de resistencia de la Sección 5.6.2.4 de "Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural (ACI 318-08)": "Una prueba de resistencia será el promedio de las resistencias de al menos dos cilindros de 6 por 12 pulgadas o al menos tres cilindros de 4 por 8 pulgadas hechos de la misma muestra de concreto y probados a los 28 días o a la edad de prueba designada para la determinación de  $f'_c$ ."

### **A. Prueba de resistencia a la compresión**

Para diseñar una vivienda, la prueba a la compresión es la medida más común de desempeño que emplean los profesionales y esta se mide por medio de cilindros de concreto, siguiendo la norma ASTM C31 "Práctica estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo.<sup>a</sup> partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste la carga. Se determina la resistencia a la compresión, a la edad de 28 días, para confirmar que la resistencia sea la especificada para el proyecto y para control de calidad. (Imcyc, 2006) El objetivo de esta prueba es la determinación de la capacidad de carga del concreto a una edad establecida, mediante la aplicación de fuerza axial a un elemento de dimensiones conocidas basándose en la norma ASTM C-39-01. Según la norma (INTERNATIONAL, s.f.-a): Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos taladrados. Esta limitado al concreto que tenga un peso unitario mayor de 50lb/pe<sup>3</sup> (800 Kg/m<sup>3</sup>).

### **B. Prueba de resistencia a flexión**

La resistencia a la flexión es una medida expresada como el Módulo de Ruptura, indicando la resistencia a la falla por momento de un elemento no reforzado. Para realizar este ensayo se utiliza la norma ASTM C293 la cual indica que la carga se aplica en el punto medio de la luz en una viga de concreto de 6 x 6 pulgadas de sección transversal, con un mínimo de tres veces el espesor. (NMRCA, s.f.)

## **XII. El plástico**

El plástico se inventó desde el 1950, es un material que usamos a diario el cual es barato, liviano y fácil de hacer. Sustituyó artefactos que antes se hacían de vidrio, cartón, metal, madera, lana o algodón. Desde el 1950 hasta la actualidad, se han fabricado aproximadamente 8,3 mil millones de toneladas de plástico. Lastimosamente, alrededor de 13 millones de toneladas de plástico se filtran en los océanos cada año, dañando la biodiversidad y nuestra salud. La mayoría de los plásticos no se biodegradan, si no que se convierten en fragmentos hasta convertirse en micro plásticos. (Lugo & Torres, 2019). (I. Almeshal, 2020).

### **A. Plástico en ríos y océanos**

The Ocean Cleanup (OCU), una organización no gubernamental, realizó un estudio para identificar los ríos que llevan más plástico hacia los océanos y se determinó que 1,000 ríos del planeta aportan más del 80 por ciento del plástico que habita en los mares (Blanco, s.f.), 25 de estos mil ríos están en Centro América y de ellos, 11 en Guatemala. Aparte de estos 11 ríos, hay otros que no desembocan en el océano, pero llevan mucha basura, como el río Motagua, el cual ha ocasionado problemas con el Gobierno de Honduras ya que desemboca en su país con mucha contaminación.

En Guatemala existen acuerdos gubernativos que guían la gestión para el manejo de desechos como la Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos sólidos (Acuerdo Gubernativo 11-2005) y la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos (Acuerdo 281-2015) del Ministerio de Ambiente. A pesar de estos acuerdos, no se cuenta con un marco legal que implemente programas que manejen el tema.

### **1. Plásticos y sus propiedades.**

- a) Polietileno (PE): Excelente dureza, resistencia química, baja resistencia al calor y muy fácil de procesar. Su capacidad para sostener peso es limitada.
- b) Polipropileno (PP): Tiene propiedades físicas bajas, excelente resistencia química y es fácil de procesar. A temperatura ambiente, no hay ninguna sustancia orgánica que lo pueda disolver.
- c) Poliestireno (PS): Baja resistencia al impacto, pobre resistencia química, moderada resistencia al calor. Ya que tiene un índice de fluidez elevado, es posible hacer productos de gran complejidad en cuanto a su forma.
- d) Cloruro de Polivinilo (PVC): Tiene buenas propiedades físicas, baja resistencia al calor, es el termoplástico de mayor versatilidad ya que si se le agregan aditivos, se pueden modificar sus propiedades.
- e) Polietileno Tereftalato PET: “El origen del PET fue para su utilización en la industria textil como fibra de alta resistencia (p. ej Terylene, Trevira). Es el material con el que se hacen las películas flexibles de alta calidad (P. ej. El Melinex). Se usa también para la fabricación de botellas para bebidas carbonatadas y en el moldeo por inyección de artículos eléctricos, gracias a las buenas propiedades que posee como dieléctrico. Se obtiene a partir del ácido tereftálico y del etilén glicol. Es un material altamente higroscópico, por lo que requiere de un proceso

de deshumidificación previo a su transformación. La fabricación de botellas requiere de un proceso especial denominado inyección-soplo biorientado” (Madrigal, 2011).

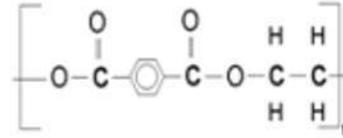


Figura 1. Unidad estructural del PET

(Córdoba, 2015).

La razón por la cual se utilizó el PET para este proyecto y no otro, es porque desde el punto de vista ambiental, es el mejor para reciclarlo ya que al fabricarlo, consume mucha energía, su incineración produce mucha energía. En cuanto a sus propiedades físicas se muestra a continuación.

Propiedad (unidad)	PET virgen	RPET
Módulo de Young (MPa)	1890	1630
Resistencia a la rotura (MPa)	47	24
Resistencia al impacto (J m <sup>-3</sup> )	12	20
Viscosidad intrínseca (dL g <sup>-1</sup> )	0.72 – 0.84	0.46 – 0.76
Temperatura de fusión (°C)	244 - 254	247 - 253
Masa molecular (g mol <sup>-1</sup> )	81,600	58,400

Cuadro 3

Comparación entre propiedades físicas del PET virgen y el RPET

(Córdoba, 2015)

El objetivo principal de reciclar es reducir los desechos al generar nuevos materiales con estos. (R. Siddique, 2007) Esto se consigue cuando los desechos pasan por un proceso fisicoquímico o mecánico para generar un nuevo producto. Los tres tipos de reciclajes pueden ser físico o mecánico, químico o terciario, energético o cuaternario.

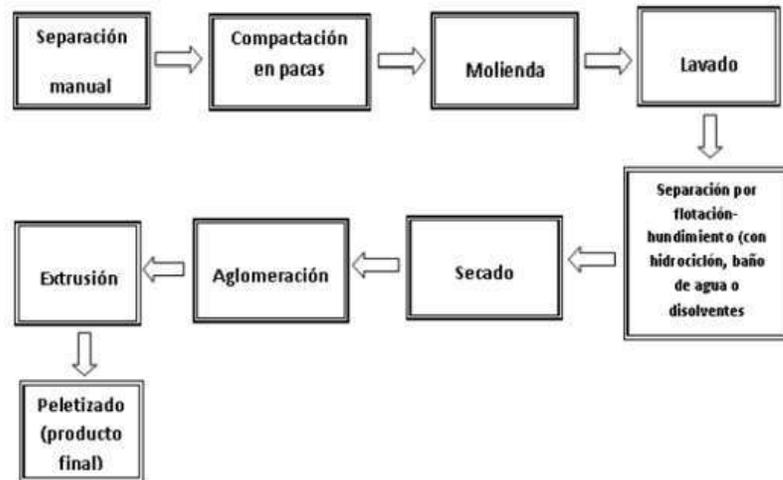


Figura 2. Proceso para el reciclaje del PET

(Córdoba, 2015).

’El PET de desecho es seleccionado de acuerdo a su transparencia, color y grado de limpieza; posteriormente se efectúa el lavado para deshacerse de abrasivos, residuos de material biodegradable, papel, adhesivos y etiquetas. En este momento se separan contaminantes como

arena, piedra, vidrio y metales. Una vez limpio, el PET puede compactarse en pacas, con la finalidad de reducir volumen (sobre todo si se trata de botellas), o bien, pasar por un molino para reducción de tamaño' (Córdoba *et al.*, 2015).

### XIII. Vivienda unifamiliar de un nivel

#### A. Tomando en cuenta la norma FHA para viviendas de 50 m<sup>2</sup> y hasta 100 m<sup>2</sup> de área construida

##### 1. Restricciones.

Para el diseño de una vivienda unifamiliar para habitantes con bajos recursos, es necesario tomar en cuenta las dimensiones dictadas en las normas especificadas para cumplir con todos los requisitos y así pueda ser una vivienda apta para hipotecar

a) Lado menor de sala o comedor y sus combinaciones	2.45m
b) Lado menor de dormitorios	2.35m
c) Lado menor de dormitorios de servicio	2.00m
d) Lado menor de baño principal	1.10m
e) Lado menor de baño de servicio o ½ baño	0.90m
f) Ancho mínimo de pasillos	0.85m
g) Lado menor de cocina	1.40m
h) Lavandería (opcional)	1.40m

Figura 3. Dimensiones mínimas, sin incluir gruesos de muros, enlucidos, o espacios para closet. (FHA, s.f.)

En la norma FHA muestran diferentes combinaciones para el diseño de una casa, siendo estas: sala-comedor, cocina, dormitorios, otra opción es sala-comedor-cocina, dormitorios y en este caso, para una mayor comodidad de los usuarios, se eligió sala, combinación cocina-comedor, dormitorios.

TIPO	SALA	COCINA-COMEDOR	DORMITORIOS		
			1	2	3
<i>Viv. de 1 dormitorio</i>	7.00	8.00	7.56	---	---
<i>Viv. de 2 dormitorios</i>	7.00	8.00	7.56	7.00	---
<i>Viv. de 3 dormitorios</i>	---	---	---	---	---
<b>Y más</b>	7.56	9.00	7.00	7.00	7.00

Figura 4. Superficies mínimas (m<sup>2</sup>), tomando en cuenta una vivienda con sala, combinación cocina-comedor, dormitorios.

(FHA, s.f.)

Tomando las normas y las medidas mínimas para una construcción de hasta 100 m<sup>2</sup> de construcción, se muestra a continuación el diseño de la planta de la vivienda, consistiendo en un dormitorio principal con baño propio junto con 2 dormitorios secundarios y en el área social, una cocina-comedor y sala.



Figura 5. Planta de vivienda unifamiliar.

(Elaboración propia)

## XIV. Materiales utilizados

### A. Arena

Arena	
Densidad aparente	2,700
Módulo de finura	3
Porcentaje de absorción	1.2
Porcentaje de humedad	6.5

Cuadro 4  
*Tabla de propiedades de arena*



*Figura 6. Agregado: Arena*

### B. Cemento

Para la realización de los ensayos se utilizó cemento UGC, portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. (COGUANOR, s.f.-a)

Cemento	UG
Densidad aparente	3,050

Cuadro 5  
*Tabla de propiedades del cemento*



*Figura 7. Cemento*

### C. Piedrín 3/8

Piedrín 3/8	
Porcentaje de absorción	1.3
Porcentaje de humedad	1

Cuadro 6  
*Tabla de propiedades de piedrín 3/8*



*Figura 8. Agregado: Piedrín de 3/8*

### D. Pedrín 3/4

Piedrín 3/4	
Densidad aparente	2,730
Porcentaje de absorción	1.1
Porcentaje de humedad	0.5

Cuadro 7  
*Tabla de propiedades de piedrín 3/4*



*Figura 9. Agregado: Piedrín de 3/4*

## E. Plástico PET

PET	
Densidad aparente	1,350
Porcentaje de absorción	0.02
Porcentaje de humedad	0.5

Cuadro 8

*Tabla de propiedades del plástico PET*



*Figura 10. Apariencia del PET utilizado*

## F. Aditivo Polyheed 789

"Polyheed es un aditivo reductor de agua de rango medio, libre de cloruros, formulado para una trabajabilidad y acabados excepcionales"(MBCC, s.f.). En el proceso de mezclado, para evitar usar más agua, se le agregaron 76ml de este aditivo a las mezclas para mejorar la trabajabilidad, se agregan 4ml por kg de cemento.



*Figura 11. Aditivo Polyheed*

## XV. Equipo utilizado

### A. Báscula

Se utilizó una báscula ADAM CPW plus-35 la cual cumple con las especificaciones en (CO-GUANOR, s.f.-f) la cual dicta que debe tener una exactitud dentro del 0.3 % de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso.



Figura 12. Báscula ADAM CPW plus-35 utilizada para la realización de los ensayos.

### B. Mezcladora del concreto

La mezcladora de concreto motorizada utilizada fue marca UMACON, con un tambor giratorio, inclinable capaz de mezclar completamente los agregados hasta llegar al asentamiento requerido, siempre siguiendo las especificaciones de (COGUANOR, s.f.-f).



Figura 13. Mezcladora de concreto UMACON



Figura 14. Equipo utilizado para la mezcla del concreto

### C. Equipo para medir asentamiento

Se utilizó un cono de Abrams, el cual es un instrumento en forma de tronco de cono de 203mm  $\pm$  3mm de diámetro en la base mayor, 102mm  $\pm$  3mm de diámetro en la base menor y 305mm  $\pm$  3mm de altura, con agarraderos y aletas para sostenerlo con los pies se utilizó sobre una superficie no absorbente y utilizando todo el equipo según norma, (COGUANOR, s.f.-f).



Figura 15. Cono de Abrams utilizado para la realización de los ensayos.

### D. Varillas compactadoras

Según las especificaciones de COGUANOR (s.f.-f), debe ser una "varilla de acero cilíndrica, recta con al menos el extremo de apisonar redondo en una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla". En esta ocasión se utilizó una varilla larga de 5/8 pulg de diámetro y 24 pulg de longitud.



Figura 16. Varilla utilizada para compactar



Figura 17. Varilla utilizada para compactar

## E. Mazo

Para dar los golpes a los equipos de acero es necesario un mazo con cabeza de hule de 1.25  $\pm$  0.50lb de peso. (COGUANOR, s.f.-f)



*Figura 18.* Mazo utilizado en los ensayos

## F. Dispositivo para medición de temperatura

El aparato para medir la temperatura debe tomar el dato con exactitud con una aproximación de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (COGUANOR, s.f.-c). El utilizado para este ensayo fue marca Cooper-Atkins DFP450W.



*Figura 19.* Dispositivo para medición de temperatura Cooper-Atkins DFP450

## G. Equipo para medir contenido de aire

Según COGUANOR (2017), existen dos medidores, en esta ocasión se utilizó el medidor tipo B el cual consiste en un recipiente de medición y una tapa ensamblada. Este tipo de medidor consiste en igualar un volumen conocido de aire, a una presión conocida, en una cámara de aire sellada, con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto, el indicador del medidor de presión se calibra en términos del porcentaje de aire para la presión observada en la que tiene lugar la igualación".



Figura 20. Recipiente de medición



Figura 21. Presuometro

## H. Moldes cilíndricos

Los moldes cilíndricos usados para esta investigación tienen una medida de 6 pulg x 12 pulg, cumplen con la especificaciones de COGUANOR (s.f.-d), la cual dicta que la medidas deben tener una altura nominal interior igual a dos veces el diámetro nominal interior, los cilindros no deben ser absorbentes y sin fugas, suficientemente resistentes y tenaces.



Figura 22. Moldes de cilindros

## I. Moldes de viga

Los moldes para hacer las vigas que se ensayan a flexión deben ser de forma rectangular, siguiendo las especificaciones de COGUANOR (s.f.-c) y para este ensayo se utilizó un molde de 541x153x153 mm.



*Figura 23. Molde de viga*

## J. Prensa hidráulica

Para este ensayo se utilizó la máquina de ensayo HUMBOLDT, la cual cumple con las especificaciones de la norma (COGUANOR, 2017), teniendo suficiente capacidad de aplicar la carga continuamente y sin impacto.



*Figura 24. Máquina de ensayo HUMBOLDT*

vccv

## **XVI. Pruebas al concreto**

### **A. Temperatura**

Para la toma de temperatura, es permisible que el concreto esté recién mezclado, se prepara el equipo humedeciendo el sensor de temperatura, se coloca en el concreto de tal manera que el sensor esté embebido 3 pulgadas en todas las direcciones. Se presiona suavemente la superficie del concreto alrededor del dispositivo con el propósito de cerrar cualquier vacío. Se deja el dispositivo en el concreto por lo menos 2 minutos, pero no más de 5, luego se lee y registra la temperatura. (COGUANOR, s.f.-c)

### **B. Asentamiento**

Para medir el asentamiento, como se mencionó anteriormente, se utiliza un cono de Abrams. El procedimiento consiste en humedecer el molde para que el cono no le quite agua al concreto y de una lectura falsa, luego se coloca en una superficie plana, rígida y no absorbente. Se sostiene el cono firmemente mientras se va llenando con 3 capas, cada una de aproximadamente 1/3 del volumen del molde. Cada capa se varilla 25 veces uniformemente en toda la sección y se va avanzando en forma de espiral, empezando cerca del perímetro, hacia el centro. La segunda capa y la última, se deben varillar de tal manera que al dar el golpe, la varilla penetre aproximadamente 1 pulgada la capa inferior.

Al haber llenado por completo el cono, al terminar de varillar, se empareja la superficie mediante el rodamiento de la varilla, luego se limpia al rededor del cono y se retira el molde en dirección vertical en 5 +-2 segundos. De inmediato se mide el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y la superficie superior del espécimen. (COGUANOR, 2017)

### **C. Contenido de aire**

Para obtener el contenido de aire, se utiliza el equipo descrito anteriormente y siguiendo las especificaciones de la norma (COGUANOR, s.f.-b), se humedece el interior del recipiente de medición y se coloca el concreto en tres capas de aproximadamente el mismo volumen. Cada capa se varilla 25 veces y para la segunda y última, se trata que la varilla penetre la capa inferior aproximadamente 1 pulgada. Después de cada capa varillada, se golpean los lados del recipiente con el mazo de 10 a 15 veces, esto con el propósito llenar las oquedades que dejó el varillado a la altura de la capa que se acaba de llenar.

Al concluir con las capas, varillado y golpes, se enrasa la superficie con una regla o una placa enrasador. Para el medidor tipo B, se debe limpiar todo el borde y las pestañas del recipiente, luego se ensambla el aparato, se cierra la válvula principal de aire y se abren ambas válvulas de paso. Se inyecta agua con una jeringa de látex, hasta que por la válvula opuesta empiece a salir agua, se sacude el medidor hasta que termine de salir todo el aire por la misma llave.

Se cierra la válvula de purga de aire y se bombea aire en la cámara hasta que la aguja del medidor de presión este en la línea de presión inicial. Luego de unos segundos, se abre la válvula principal

de aire y se golpea con el mazo a los lados del recipiente para eliminar restricciones, finalmente se lee el porcentaje de aire. (COGUANOR, s.f.-b)

#### **D. Elaboración y curado de especímenes de ensayo**

Para la elaboración de los especímenes de ensayo, es necesaria una superficie rígida a nivel, libre de vibraciones. Se coloca el concreto en los moldes cilíndricos en 3 capas, cada capa debe ser varillada 25 veces y en la segunda y última capa, la varilla debe traspasar 1 pulgada de la capa inferior. Luego de llenar y varillar cada capa, se van dando de 10 a 15 golpes al molde en el área donde se encuentra el concreto, en este caso se utiliza la palma de la mano ya que son moldes de plástico. Al terminar de llenar el cilindro, se le quita el exceso del concreto y luego con una regla ó una llana de albañil se le da el acabado final.

Para la elaboración de vigas, es parecido el proceso de los cilindros, con la diferencia que se debe colocar el concreto en dos capas y la cantidad de penetraciones con varilla debe ser 1 por cada 14 cm<sup>2</sup> de superficie, en este caso fueron 65. Ya que el molde es de metal, los golpes se realizan con el mazo.

Luego de haber sido moldeados los especímenes, se deben de almacenar máximo 48 horas en una temperatura ambiente, se pueden quedar los cilindros con su curado inicial con una bolsa y hules para evitar pérdida de humedad, para que la misma humedad que sale por la reacción exotérmica nos sirva para su curado inicial. Luego, al quitar los moldes, tanto para los cilindros como las vigas, se deben almacenar en tanques de agua o cuartos húmedos que cumplan con los requisitos. (COGUANOR, s.f.-g)

#### **E. Resistencia a la compresión, método de ensayo NTG 41017 H1 (ASTM C39/C39M) y NTG 41067**

Para la realización de la prueba de resistencia a la compresión, los cilindros no deben de estar secos. Según Imcyc (2006), los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más de 0.05 %. Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo y permanecer así mientras que aumenta la carga, hasta que presente una ruptura. La norma COGUANOR (s.f.-e), permite el uso de las tapas no adheridas en uno o ambos extremos de los cilindros, las almohadillas deben tener un espesor de 13 ± 2 mm y deben ser hechas de neopreno.

## XVII. Diseño de concreto

### A. Elección de asentamiento

Para seleccionar el revenimiento, se utiliza la tabla 9-6 mostrada a continuación. Para esta investigación, se seleccionó un revenimiento máximo de 4 pulgadas (100mm) y mínimo de 1 pulgada (25mm).

Construcción de concreto - revenimiento	máx. mm (pulg)	mín. mm (pulg)
Zapatos y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatos, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Cuadro 9

*Tabla 9-6 de revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.*  
(ACI 211.1)

### B. Elección tamaño máximo de agregado

Según lo establecido en el ACI 318, el tamaño del agregado no debe sobrepasar:

- 1/3 del espesor del piso o pavimentos sin refuerzo = 33mm
- 3/4 de la separación entre barras de acero
- 1/5 de la distancia entre la formaleta

Para los ensayos, se escogió el tamaño de 3/4" para el agregado grueso.

### C. Cálculo del agua y del contenido de aire

La Tabla 9-5, muestra las cantidades de agua de mezcla máximas dependiendo de los tamaños de agregado y revenimiento. Se estableció que para esta investigación, con un revenimiento entre 75 a 100mm, se necesitan 165 litros de agua por metro cúbico de concreto.

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados							
	9.5 mm	12.5 mm	19mm	25mm	37.5mm	50mm	75mm	150mm
	Concreto sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	--
Cantidad aproximadamente de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
	Concreto con aire incluido							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	--
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje								
Exposición leve	1.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Figura 25. Tabla 9-5 Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.

(ACI 211.1)

#### D. Selección de relación agua/cemento

Usando la Tabla 9-3 como guía para escoger la relación agua/cemento, se decidió utilizar una relación de 0.48.

F'c, lb/pulg <sup>2</sup>	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
7000	0.33	—
6000	0.41	0.32
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Cuadro 10

Tabla 9-3 Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la resistencia a Compresión del Concreto.

(ACI 211.1)

#### E. Cálculo de contenido de cemento

Tomando la relación de 0.48 y una cantidad de agua de 165 litros, se dividen así obteniendo una cantidad de 345 kilogramos de cemento para 1 metro cúbico de concreto.

#### F. Estimación de porcentaje de agregado grueso y fino

Con un módulo de finura para arena mencionado anteriormente, con un tamaño máximo de agregado de 3/4", según la Tabla 9-4 se encuentran los siguientes porcentajes del agregado total, con un volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto de 0.60, y un volumen de agregado fino de 0.40.

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg)	Volumen del agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5 (3/8)	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.6
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.8	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Figura 26. Tabla 9-4 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto. (ACI 211.1)

### G. Estimación de la cantidad de agregado fino

Según la siguiente tabla se estima el peso del concreto, con un tamaño máximo de agregado de 3/4", obteniendo un peso del concreto de 2,347 kg/m<sup>3</sup>. Para obtener el peso de los agregados se resta el peso total, peso del cemento y el peso del agua obteniendo 1,837 kg/m<sup>3</sup>. Para determinar el agregado grueso y fino, se multiplica por los porcentajes obtenidos anteriormente. Así mismo, se requiere 1,102.2 kg/m<sup>3</sup> de agregado grueso y 734.8 kg/m<sup>3</sup> de agregado fino.

Tamaño máximo del agregado mm (pulg.)	Concreto sin aire kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )	Concreto con aire kg/m <sup>3</sup> (lb/yd <sup>3</sup> )
9.5 (3/8)	2,276 (3,840)	2,187(3,690)
12.5 (1/2)	2,305(3,890)	2,228(3,760)
19 (3/4)	2,347(3,960)	2,276(3,840)
25 (1)	2,376(4,010)	2,311(3900)
37.5 (1 1/2)	2,412(4,070)	2,347(3,960)
50 (2)	2,441(4,120)	2,370(4,000)
75 (3)	2,465(4,160)	2,394(4,040)
150 (6)	2,507(4,230)	2,441(4,120)

Figura 27. Estimación de pesos del concreto mezclado fresco

### H. Ajuste por humedad del agregado

Usando la siguiente ecuación, se determinaron las proporciones finales para la mezcla de concreto.

$$\%Ht = \frac{(P.Humedo - P.Seco)}{P.Seco} * 100$$

$$Peso\ corregido = \frac{(1 + \%Ht/100)}{(1 + \%ABS/100)} * Peso\ diseño\ teórico$$

Figura 28. Estimación de pesos del concreto mezclado fresco

### XVIII. Mezclas de concreto con PET

Las siguientes proporciones son para 1 m<sup>3</sup> de concreto, contemplando los diferentes porcentajes de PET sustituyendo el pedrín de 3/8.

Material	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Cemento (kg)	345	345	345	345	345	345
Agua (kg)	165	165	165	165	165	165
Agregado I de 3/4"(kg)	615	615	615	615	615	615
Agregado II de 3/8"(kg)	267	240	214	187	160	134
Arena (kg)	996	996	996	996	996	996
PET (kg)	0	27	53	80	107	134
Peso total (kg)	2388	2388	2388	2388	2388	2388

Cuadro 11

*Tabla de proporciones de materiales para mezcla de 1m<sup>3</sup> de concreto, para esto se fue variando el agregado de PET dependiendo del porcentaje que pertenece para cada prueba.  
(Elaboración propia).*

## XIX. Resultados de mezclas

### A. Resultados de concreto con 0 % de PET

Al iniciar con las mezclas de concreto, es necesario hacer una con 0 % de plástico PET para poder llevar un control y un punto de comparación para analizar cómo las propiedades mecánicas van cambiando. Tomando en consideración el diseño que se realizó para un metro cúbico de concreto, se obtuvieron las siguientes proporciones para poder ensayar 6 cilindros de 6 pulgadas por 12 pulgadas y una viga para poder hacer el ensayo a tensión.

Material	0 %
Cemento	0.113
Agua	0.165
Agregado I de 3/4"	0.225
Agregado II de 3/8"	0.098
Arena	0.369
PET	0

Cuadro 12

*Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 0 % de PET*

Material	0 %
Cemento (kg)	18.98
Agua (kg)	6.99
Agregado I de 3/4"(kg)	33.62
Agregado II de 3/8"(kg)	14.64
Arena (kg)	57.11
PET (kg)	0
Polyheed (ml)	76
Relación A/C	0.37

Cuadro 13

*Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m<sup>3</sup> para mezcla de concreto con 0 % de PET, volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.*

Prueba	0 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	2.5
Asentamiento con aditivo (pulg)	7
Temperatura (°C)	21
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	7
Masa uniforme(kg)	17.08
Peso concreto (kg/m <sup>3</sup> )	2,413
Aire ( %)	1.4

Cuadro 14

*Resultados del concreto fresco para mezcla con 0 % de PET.*



Figura 29. Asentamiento sin aditivo de concreto con 0 % de PET



Figura 30. Asentamiento con aditivo en concreto con 0 % de PET



Figura 31. Temperatura de concreto con 0 % de PET



Figura 32. Peso de concreto con 0 % de PET



Figura 33. Porcentaje de aire de concreto con 0 % de PET

En la prueba de control se observó que todos los parámetros cumplen con las normas descritas anteriormente, la trabajabilidad es muy buena y está dentro del rango de asentamientos aceptables.

Cilindro No.	días	Masa (kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	% f'c
1 y 2	7	13.54	464	25.45	3,690	123
3 y 4	14	13.59	504	27.6	4,005	134
5 y 6	28	13.57	554	30.35	4,400	147

Cuadro 15

*Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 0 % de PET.*

Los resultados de los ensayos a compresión fueron los deseados, llegando a más del 100 por ciento de la resistencia requerida por lo que se puede decir que las proporciones de los materiales son los adecuados.

#### **B. Resultados de concreto con 10 % de PET sustituyendo pedrín de 3/8**

Material	10 %
Cemento	0.113
Agua	0.165
Agregado I de 3/4"	0.225
Agregado II de 3/8"	0.088
Arena	0.369
PET	0.020

Cuadro 16

*Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 10 % de PET.*

Material	10 %
Cemento (kg)	18.98
Agua (kg)	6.45
Agregado I de 3/4"(kg)	33.62
Agregado II de 3/8"(kg)	13.16
Arena (kg)	57.65
PET (kg)	1.48
Polyheed (ml)	76
Relación A/C	0.34

Cuadro 17

Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m<sup>3</sup> para mezcla de concreto con 10 % de PET, volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.

Prueba	10 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	0
Asentamiento con aditivo (pulg)	5
Temperatura (°C)	21.5
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	6
Masa uniforme(kg)	16.75
Peso concreto (kg/m <sup>3</sup> )	2,367
Aire (%)	1.45

Cuadro 18

Resultados del concreto fresco para mezcla con 10 % de PET



Figura 34. Asentamiento con aditivo en concreto con 10 % de PET



Figura 35. Porcentaje de aire de concreto con 10 % de PET



Figura 36. Temperatura de concreto con 10 % de PET



Figura 37. Peso de concreto con 10 % de PET

Cilindro No.	días	Masa (kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	% f'c
1 y 2	7	13.25	349.5	19.15	2,775	93
3 y 4	14	13.66	412	22.6	3,275	109.17
5 y 6	28	13.32	452	24.9	3,590	119.5

Cuadro 19

*Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 10 % de PET.*

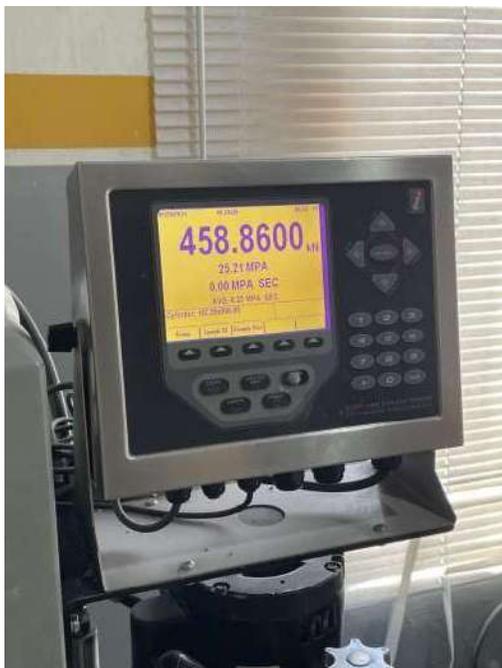


Figura 38. Cilindro 1. Resistencia a compresión a los 28 días con 10 % de PET



Figura 39. Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 10 % de PE

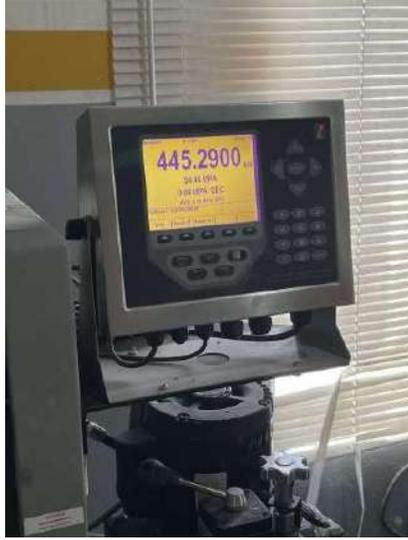


Figura 40. Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 10 % de PET



Figura 41. Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 10 % de PET

### C. Resultados de concreto con 20 % de PET sustituyendo piedrín de 3/8

Material	20 %
Cemento	0.113
Agua	0.165
Agregado I de 3/4"	0.225
Agregado II de 3/8"	0.078
Arena	0.369
PET	0.040

Cuadro 20

Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 20 % de PET

Material	20 %
Cemento (kg)	18.98
Agua (kg)	6.98
Agregado I de 3/4" (kg)	33.62
Agregado II de 3/8" (kg)	11.74
Arena (kg)	57.11
PET (kg)	2.91
Polyheed (ml)	76
Relación A/C	0.37

Cuadro 21

Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m<sup>3</sup> para mezcla de concreto con 20 % de PET, volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.

Prueba	20 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	2.5
Asentamiento con aditivo (pulg)	7.75
Temperatura (°C)	22
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	7.75
Masa uniforme(kg)	16.39
Peso concreto (kg/m3)	2,316
Aire (%)	1.4

Cuadro 22

Resultados del concreto fresco para mezcla con 20 % de PET.



Figura 42. Asentamiento sin aditivo de concreto con 20 % de PET



Figura 43. Asentamiento con aditivo en concreto con 20 % de PET



Figura 44. Temperatura de concreto con 20 % de PET



Figura 45. Peso de concreto con 20 % de PET



Figura 46. Porcentaje de aire de concreto con 20 % de PET

Cilindro No.	días	Masa (kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	% f'c
1 y 2	7	13.08	308.5	16.9	2,450	82
3 y 4	14	13.09	362	19.85	2,875	96
5 y 6	28	13.09	377	20.65	2,995	100

Cuadro 23

Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 20 % de PET.



Figura 47. Cilindro 1. Resistencia a compresión a los 28 días con 20 % de PET



Figura 48. Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 20 % de P



Figura 49. Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 20 % de PET



Figura 50. Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 20 % de PET

#### D. Resultados de concreto con 30 % de PET sustituyendo piedrín de 3/8

Material	30 %
Cemento	0.113
Agua	0.165
Agregado I de 3/4"	0.225
Agregado II de 3/8"	0.068
Arena	0.369
PET	0.059

Cuadro 24

Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 30 % de PET

Material	30 %
Cemento (kg)	18.98
Agua (kg)	6.39
Agregado I de 3/4"(kg)	33.62
Agregado II de 3/8"(kg)	10.31
Arena (kg)	57.65
PET (kg)	4.40
Polyheed (ml)	76
Relación A/C	0.34

Cuadro 25

Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m<sup>3</sup> para mezcla de concreto con 30 % de PET, volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.

Prueba	30 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	1
Asentamiento con aditivo (pulg)	4.5
Temperatura (°C)	21.5
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	5
Masa uniforme(kg)	16.25
Peso concreto (kg/m3)	2,296
Aire (%)	1.6

Cuadro 26

Resultados del concreto fresco para mezcla con 30 % de PET.



Figura 51. Asentamiento sin aditivo de concreto con 30 % de PET



Figura 52. Asentamiento con aditivo en concreto con 30 % de PET



Figura 53. Temperatura de concreto con 30 % de PET



Figura 54. Peso de concreto con 30 % de PE



Figura 55. Porcentaje de aire de concreto con 30 % de PET

Cilindro No.	días	Masa(kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	% f'c
1 y 2	7	13	289	15.8	2,295	77
3 y 4	14	13.02	339.5	18.6	2,700	90
5 y 6	28	13.04	371.5	20.3	2,950	98

Cuadro 27

Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 30 % de PET.



Figura 56. Cilindro 1. Resistencia a compresión los 28 días con 30 % de PET



Figura 57. Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 30 % de PET



Figura 58. Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 30 % de PET



Figura 59. Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 30 % de PET

#### E. Resultados de concreto con 40 % de PET sustituyendo pedrín de 3/8

Material	40 %
Cemento	0.113
Agua	0.165
Agregado I de 3/4"	0.225
Agregado II de 3/8"	0.059
Arena	0.369
PET	0.079

Cuadro 28

Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 40 % de PET

Material	40 %
Cemento (kg)	18.98
Agua (kg)	6.39
Agregado I de 3/4"(kg)	33.62
Agregado II de 3/8"(kg)	8.82
Arena (kg)	57.65
PET (kg)	5.88
Polyheed (ml)	76
Relación A/C	0.34

Cuadro 29

Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m<sup>3</sup> para mezcla de concreto con 40 % de PET, volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.

Prueba	40 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	1.5
Asentamiento con aditivo (pulg)	4
Temperatura (°C)	22.5
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	4
Masa uniforme(kg)	16.07
Peso concreto (kg/m3)	2,271
Aire (%)	1.6

Cuadro 30

Resultados del concreto fresco para mezcla con 40 % de PET.



Figura 60. Asentamiento sin aditivo de concreto con 40 % de PET



Figura 61. Asentamiento con aditivo en concreto con 40 % de PET



Figura 62. Temperatura de concreto con 40 % de PET



Figura 63. Peso de concreto con 40 % de PET



Figura 64. Porcentaje de aire de concreto con 40 % de PET

Cilindro No.	días	Masa (kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	% f'c
1 y 2	7	12.84	298	16.35	2,370	79
3 y 4	14	12.95	329	18	2,610	87
5 y 6	28	12.86	353.5	19.4	2,805	94

Cuadro 31

Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 40 % de PET. Elaboración propia.



Figura 65. Cilindro 1. Resistencia a compresión los 28 días con 40 % de PET



Figura 66. Cilindro 1. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 40 % de PET



Figura 67. Cilindro 2. Resistencia a compresión a los 28 días con 40 % de PET



Figura 68. Cilindro 2. Grieta de cilindro después de ensayo a compresión con 40 % de PET

#### F. Resultados de concreto con 50 % de PET sustituyendo pedrín de 3/8

Material	50 %
Cemento	0.113
Agua	0.165
Agregado I de 3/4"	0.225
Agregado II de 3/8"	0.049
Arena	0.369
PET	0.099

Cuadro 32

Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 50 % de PET

Material	50 %
Cemento (kg)	18.98
Agua (kg)	6.23
Agregado I de 3/4"(kg)	33.79
Agregado II de 3/8"(kg)	7.38
Arena (kg)	57.65
PET (kg)	7.37
Polyheed (ml)	76
Relación A/C	0.33

Cuadro 33

Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m<sup>3</sup> para mezcla de concreto con 50 % de PET, volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.

Prueba	50 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	0.25
Asentamiento con aditivo (pulg)	0.5
Temperatura (°C)	22.5
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	0.5
Masa uniforme(kg)	16.03
Peso concreto (kg/m3)	2,265
Aire ( % )	2

Cuadro 34

Resultados del concreto fresco para mezcla con 50 % de PET.



Figura 69. Asentamiento sin aditivo de concreto con 50 % de PET



Figura 70. Asentamiento con aditivo en concreto con 50 % de PET



Figura 71. Temperatura de concreto con 50 % dePET



Figura 72. Peso de concreto con 50 % de PET



Figura 73. Porcentaje de aire de concreto con 50 % de PET

Cilindro No.	días	Masa (kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	% f'c
1 y 2	7	12.81	335.5	18.35	2,660	89
3 y 4	14	12.85	347.5	18.5	2,755	92
5 y 6	28	12.83	351	19.2	2,785	93

Cuadro 35

*Promedio de resultados de pruebas a compresión para concreto con 50 % de PET.*

### G. Resumen de resultados de pruebas a concreto fresco

Prueba	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	2.5	0	2.5	1	1.5	0.25
Asentamiento con aditivo (pulg)	7	5	7.75	4.5	4	0.5
Temperatura (°C)	21	21.5	22	21.5	22.5	22.5
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	7	6	7.75	5	4	0.5
Masa uniforme(kg)	17.08	16.75	16.39	16.25	16.07	16.03
Peso concreto (kg/m3)	2,413	2,367	2,316	2,296	2,271	2,265
Aire (%)	1.4	1.45	1.4	1.6	1.6	2

Cuadro 36

*Resultados de los diferentes porcentajes de PET para las pruebas al concreto fresco.*

### H. Resumen de resultados de resistencias a compresión

días	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
7 (psi)	3,690	2,775	2,450	2,295	2,370	2,660
14 (psi)	4,005	3,275	2,875	2,700	2,610	2,755
28 (psi)	4,400	3,590	2,995	2,950	2,805	2,785

Cuadro 37

*Promedio de la resistencia de ambos cilindros tomando en cuenta los diferentes porcentajes de PET.*

## I. Resumen de resultados de resistencias a tensión

Las vigas realizadas en laboratorio, se enviaron a Cementos Progreso S.A. para que realizaran los ensayos a tensión (por falta de mezcla, no se pudo hacer viga al 30 % de PET), obteniendo los siguientes resultados:

	0 %	10 %	20 %	40 %	50 %
Módulo rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	46	48	49	41	30

Cuadro 38

*Resistencia a tensión de vigas tomando en cuenta los diferentes porcentajes de PET.*

## XX. Diseño por medio de ETABS

Para obtener valores representativos para el modelado de la vivienda, es necesario configurar las propiedades de los materiales, en las siguiente imágenes, se muestran las propiedades del concreto con 10 % de PET, obteniendo el módulo de elasticidad de la siguiente formula obtenida de la NSE 7.4, (AGIES, 2018a) y las propiedades del acero de refuerzo grado 60.

(e) El módulo de elasticidad del concreto se tomará conforme ACI 318:

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c} \quad [\text{kg/cm}^2] \quad (5.6.2-4)$$

Figura 74. Fórmula para obtener el módulo de elasticidad del concreto conforme ACI 318. Obtenido de NSE 7.4-2018

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in ETABS. The 'General Data' section includes: Material Name (10% PET), Material Type (Concrete), Directional Symmetry Type (Isotropic), Material Display Color (dark grey), and Material Notes (Modify/Show Notes...). The 'Material Weight and Mass' section has 'Specify Weight Density' selected, with Weight per Unit Volume (2388 kgf/m³) and Mass per Unit Volume (243.51 kgf-s²/m⁴). The 'Mechanical Property Data' section includes: Modulus of Elasticity, E (219299 kgf/cm²), Poisson's Ratio, U (0.2), Coefficient of Thermal Expansion, A (9.9E-06 1/C), and Shear Modulus, G (91374.58 kgf/cm²). The 'Design Property Data' section has a 'Modify/Show Material Property Design Data...' button. The 'Advanced Material Property Data' section has buttons for 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 75. Configuración en ETABS de propiedades para concreto con 10 % de PET

ET Material Property Data

General Data

Material Name: As G60

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color:  Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7850 kgf/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 800.48 kgf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2100000 kgf/cm<sup>2</sup>

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.17E-05 1/C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Figura 76. Configuración en ETABS de propiedades para acero

## XXI. Diseño estructural

### A. Diseño de losa

#### PROPIEDADES DE LOSA DE TECHO A - B 2 - 3

$$t := 12 \text{ cm} = 4.724 \text{ in}$$

ESPESOR DE LOSA

RECUBRIMIENTO DE 3/4" YA QUE EN EL ACI 318-14 EN LA SECCIÓN 20.6.1.3.1 SE ESTABLECE QUE SE DEBE DE UTILIZAR ESTE VALOR PARA LOSAS CON VARILLAS MENORES A NO. 11.

$$rec := \frac{3}{4} \text{ in}$$

RECUBRIMIENTO

$$l := 4 \text{ m}$$

LONGITUD ENTRE EJE A - B

$$Ancho := 3 \text{ m}$$

PARA SER LOSA EN UNA DIRECCIÓN  $\frac{b}{l} < 0.5$

$$b := \frac{Ancho}{2} = 59.055 \text{ in}$$

ANCHO DE LOSA  $unaD := \frac{b}{l} = 0.375$

$$b_{losa} := 1 \text{ ft}$$

ANCHO DE UNA LOSA EN LA DIRECCIÓN SE DISEÑA COMO UNA VIGA DE 12 PULGADAS

$$f'_c := 3 \text{ ksi}$$

RESISTENCIA DEL CONCRETO

$$f_y := 60 \text{ ksi}$$

GRADO DE ACERO

$$\gamma_c := 2388 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} = 149.078 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}$$

PESO DEL CONCRETO

#### CARGA MUERTA EN TECHO

$$SCM_{inst} := 25 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 5.12 \text{ psf}$$

CARGA DEBIDO A INSTALACIONES

$$SCM_{mor} := 60 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 12.289 \text{ psf}$$

CARGA POR MORTERO DE NIVELACIÓN

#### CARGA VIVA EN TECHO

$$CV := 100 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 20.482 \text{ psf}$$

#### CÁLCULOS

$$W_{scm} := SCM_{inst} + SCM_{mor} = 17.409 \text{ psf}$$

$$W_{losa} := t \cdot \gamma_c = 58.692 \text{ psf}$$

$$W_{CV} := CV = 20.482 \text{ psf}$$

$$W_{CM} := W_{scm} + W_{losa} = 76.101 \text{ psf}$$

TOTAL DE CARGA MUERTA SOBRE LOSA

$$W_{cv} := W_{CV} \cdot b_{losa} = 20.482 \text{ plf}$$

SE MULTIPLICA POR UN ANCHO DE LOSA DE 1 PIE, POR LO TANTO SE OBTIENEN LAS CARGAS SOBRE ESA ÁREA.

$$W_{cm} := W_{CM} \cdot b_{losa} = 76.101 \text{ plf}$$

Figura 77. Diseño de losa, parte 1

### INTEGRACIÓN DE CARGAS

$$\text{CASO 1} \quad W_{U1} := 1.4 \cdot W_{cm} = 106.542 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$$

$$\text{CASO 2} \quad W_{U2} := 1.2 \cdot W_{cm} + 1.6 \cdot W_{cv} = 124.092 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$$

$$W_{umax} := W_{U2} = 124.092 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \quad \text{CARGA ÚLTIMA DE DISEÑO}$$

EL CÓDIGO ACI 318-14 EN EL ARTÍCULO 7.3.1.1 ESTABLECE CIERTAS LIMITACIONES PARA MIEMBROS A FLEXIÓN PARA LOS CUALES NO SE CALCULAN LAS DEFLEXIONES POR LO TANTO EL SIGUIENTE CÁLCULO DEFINIRÁ SI ES NECESARIO VERIFICAR DEFLEXIONES.

**Tabla 4.1** Espesor mínimo de vigas no presforzadas o losas en una dirección a menos que se calculen deflexiones<sup>1,2</sup>

Miembro	Espesor mínimo, $h$			
	Simplemente apoyado	Un borde continuo	Ambos bordes continuos	Viga en voladizo
Miembros que no son de carga o adjuntados a muros divisorios u otra construcción susceptible de ser dañada por deflexiones grandes				
Losas sólidas en una dirección	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Vigas o losas en una dirección con costilla	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

<sup>1</sup>La longitud del claro  $l$  está en pulgadas.

<sup>2</sup>Los valores dados serán usados directamente para miembros con concreto de peso normal y refuerzo de Grado 60. Para otras condiciones, los valores serán modificados como sigue:

- a) Para concreto ligero que tenga una densidad de equilibrio en el intervalo de 90 a 115 lb/pie<sup>3</sup>, los valores se multiplicarán por  $(1.65 - 0.005w_c)$  pero no menor que 1.09, donde  $w_c$  es el peso unitario en lb/pie<sup>3</sup>.
- b) Para  $f_c$  diferente de 60 000 lb/plg<sup>2</sup>, los valores se multiplicarán por  $(0.4 + f_c/100\,000)$ .

AMBOS LADOS CONTINUOS:

$$h_{min} := \frac{b}{28} = 2.109 \text{ in}$$

UN LADO CONTINUO:

$$h_{min2} := \frac{b}{24} = 2.461 \text{ in}$$

ESPESOR DE LOSA

$$t = 4.724 \text{ in}$$

YA QUE EL ESPESOR MÍNIMO ES MENOR AL ESPESOR DE LOSA DADO, NO SE DEBE VERIFICAR FLEXIÓN.

### ACERO PARA MOMENTO POSITIVO

#### MOMENTO ÚLTIMO POSITIVO

$$M_{U1} := \frac{W_{umax} \cdot b^2}{24} = 1502.684 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

#### ACERO REQUERIDO

$$M_U = \phi M_N \text{ ASUMIENDO } \epsilon_s > 0.005, \phi = 0.9$$

$$b_{losa} := 12 \text{ PULG}$$

$$M_U := 1502.684 \text{ LBF} \cdot \text{IN} \quad f_y := 60000 \text{ PSI} \quad f_c := 3000 \text{ PSI} \quad d := 4.724 - \frac{3}{4} = 3.974 \text{ PULG}$$

Figura 78. Diseño de losa, parte 2

$$M_u = \phi M_n$$

$$M_u = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot b_{losa}} \right) - M_u \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \begin{bmatrix} 4.0394265044953667045 \\ 0.014053495504633295456 \end{bmatrix}$$

$$A_s := 0.014053 \text{ in}^2$$

### ACERO MÍNIMO

$$\rho_{min} := 0.0033 \quad b_{losa} := 12 \text{ in}$$

$$\phi_{varNo.4} := 0.5 \text{ in} \quad \text{EN LOSAS SE ASUME EL DIÁMETRO DE VARILLAS NO.4}$$

$$d := t - rec - \frac{\phi_{varNo.4}}{2} = 3.724 \text{ in} \quad \text{PERALTE EFECTIVO}$$

$$A_{smin} := \rho_{min} \cdot b_{losa} \cdot d = 0.147 \text{ in}^2$$

$A_{smin} > A_s$  POR LO TANTO, SE UTILIZARÁ EL ACERO MÍNIMO.

**Tabla A.6** Áreas de varillas en losas (plg<sup>2</sup>/pie). Unidades usuales en EUA

Separación (plg)	Varilla núm.								
	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	0.44	0.78	1.23	1.77	2.40	3.14	4.00	5.06	6.25
3½	0.38	0.67	1.05	1.51	2.06	2.69	3.43	4.34	5.36
4	0.33	0.59	0.92	1.32	1.80	2.36	3.00	3.80	4.68
4½	0.29	0.52	0.82	1.18	1.60	2.09	2.67	3.37	4.17
5	0.26	0.47	0.74	1.06	1.44	1.88	2.40	3.04	3.75
5½	0.24	0.43	0.67	0.96	1.31	1.71	2.18	2.76	3.41
6	0.22	0.39	0.61	0.88	1.20	1.57	2.00	2.53	3.12
6½	0.20	0.36	0.57	0.82	1.11	1.45	1.85	2.34	2.89
7	0.19	0.34	0.53	0.76	1.03	1.35	1.71	2.17	2.68
7½	0.18	0.31	0.49	0.71	0.96	1.26	1.60	2.02	2.50
8	0.17	0.29	0.46	0.66	0.90	1.18	1.50	1.89	2.34
9	0.15	0.26	0.41	0.59	0.80	1.05	1.33	1.69	2.08
10	0.13	0.24	0.37	0.53	0.72	0.94	1.20	1.52	1.87
12	0.11	0.20	0.31	0.44	0.60	0.78	1.00	1.27	1.56

SE UTILIZARÁN VARILLAS NO.3 @ 9 PULGADAS DE SEPARACIÓN

$$A_{slosa} := 0.15 \text{ in}^2 \quad \text{ÁREA DE ACERO}$$

$$S := 9 \text{ in} \quad \text{SEPARACIÓN ENTRE VARILLAS}$$

### SEPARACIÓN MÁXIMA DE ACERO PRINCIPAL

LA SEPARACIÓN MÁXIMA DEL ACERO SE CALCULA SEGÚN EL ARTÍCULO 24.4.3.3 DEL CÓDIGO ACI 318-14:

$$S_1 := 3 \cdot t = 14.173 \text{ in}$$

AMBAS SON MAYORES A 9 PULGADAS, POR LO TANTO SÍ CHEQUEA.

$$S_2 := 18 \text{ in}$$

Figura 79. Diseño de losa, parte 3

### FRAGUADO Y TEMPERATURA

$$A_{s1} := \frac{0.0018 \cdot 60000}{f_y} \cdot b_{losa} \cdot t = 0.102 \text{ in}^2$$

$$A_{s2} := 0.0014 \cdot b_{losa} \cdot t = 0.079 \text{ in}^2$$

SE UTILIZARÁ NO.3 @ 12 PULGADAS

$$A_{s\text{fraguado}} := 0.11 \text{ in}^2$$

### SEPARACIÓN MÁXIMA DEL ACERO POR FRAGUADO Y TEMPERATURA

$$S_{f1} := 5 \cdot t = 23.622 \text{ in}$$

AMBAS SON MAYORES A 12 PULGADAS, POR LO TANTO SÍ CHEQUEA.

$$S_{f2} := 18 \text{ in}$$

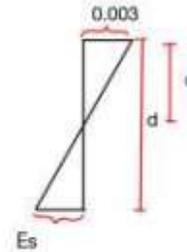
### REVISIÓN DEL FACTOR $\phi$

$$\beta_1 := 0.85$$

$$a := \frac{A_{s\text{losa}} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b_{losa}} = 0.294 \text{ in}$$

$$c := \frac{a}{\beta_1} = 0.346 \text{ in}$$

$$\epsilon_s := \frac{d \cdot 0.003}{c} = 0.032$$



0.032 > 0.005, LA LOSA ESTÁ CONTROLADA POR TENSION, POR LO TANTO  $\phi := 0.9$

### ACERO MÍNIMO A FLEXIÓN

$$\rho_{\text{min}} := 0.0033$$

$$A_{s\text{min flexión}} := \rho_{\text{min}} \cdot t \cdot b_{losa} = 0.187 \text{ in}^2$$

### MOMENTO NEGATIVO

INICIALMENTE, DEBE SUPONERSE QUE EL ESFUERZO EN EL ACERO A COMPRESIÓN  $f'_s = f_y$

### MOMENTO ÚLTIMO NEGATIVO

$$M_{1i} := \frac{W_{\text{umax}} \cdot b^2}{12} = 3005.368 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

### ACERO REQUERIDO

$$M_u = \phi M_n \text{ ASUMIENDO } \epsilon_s > 0.005, \phi := 0.9$$

$$\phi_{\text{vars}} := 0.625 \text{ in}$$

$$d := t - \text{rec} - \frac{\phi_{\text{vars}}}{2} = 3.662 \text{ in}$$

NUEVO PERALTE EFECTIVO ASUMIENDO UN DIÁMETRO DE VARILLA NO. 5

Figura 80. Diseño de losa, parte 4

$$M_{Uneg} := 3005.368 \quad \text{LBF} \cdot \text{IN} \quad f_y := 60000 \quad \text{PSI} \quad f_c := 3000 \quad \text{psi} \quad d := 3.662 \quad \text{PULG}$$

$$M_{Uneg} = \phi M_n \quad b_{losa} := 12 \quad \text{PULG}$$

$$M_{Uneg} = \phi \cdot A_{s_{neg}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_{s_{neg}} \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot b_{losa}} \right) - M_{Uneg} \xrightarrow{\text{solve, } A_{s_{neg}}} \begin{bmatrix} 3.7045926018521766607 \\ 0.030647398147823339302 \end{bmatrix}$$

$$A_s := 0.030647 \text{ in}^2$$

### ACERO MÍNIMO

$$\rho_{min} := 0.0033 \quad b_{losa} := 12 \text{ in}$$

$$\phi_{varNo.4} := 0.4 \text{ in} \quad \text{PARA LOSAS SE ASUME EL DIÁMETRO DE VARILLAS NO.4}$$

$$d := t - \text{rec} - \frac{\phi_{varNo.4}}{2} = 3.774 \text{ in}$$

$$A_{s_{min}} := \rho_{min} \cdot b_{losa} \cdot d = 0.149 \text{ in}^2$$

SE UTILIZARÁN VARILLAS NO.3 @ 9 PULGADAS DE SEPARACIÓN

$$A_{s_{neg}} := 0.15 \text{ in}^2 \quad \text{ÁREA DE ACERO}$$

$$S := 9 \text{ in} \quad \text{SEPARACIÓN ENTRE VARILLAS}$$

### SEPARACIÓN MÁXIMA

$$S_1 := 3 \cdot t = 14.173 \text{ in}$$

AMBAS SON MAYORES A 9 PULGADAS, POR LO TANTO SÍ CHEQUEA

$$S_2 := 18 \text{ in}$$

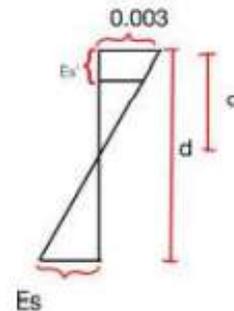
### REVISIÓN DEL FACTOR $\phi$

$$a := \frac{A_{s_{neg}} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b_{losa}} = 0.294 \text{ in}$$

$$c := \frac{a}{\beta_1} = 0.346 \text{ in}$$

$$\epsilon_s := \frac{d - 0.003}{c} = 0.033$$

$$\beta_1 := 0.85$$



$$0.033 > 0.005, \text{ POR LO TANTO } \phi := 0.9$$

Figura 81. Diseño de losa, parte 5

## B. Diseño de viga secundaria

$$M_{Uneg} := 3005.368 \quad \text{LBF} \cdot \text{IN} \quad f_y := 60000 \quad \text{PSI} \quad f_c := 3000 \quad \text{psi} \quad d := 3.662 \quad \text{PULG}$$

$$M_{Uneg} = \phi M_n \quad b_{losa} := 12 \quad \text{PULG}$$

$$M_{Uneg} = \phi \cdot A_{s_{neg}} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_{s_{neg}} \cdot f_y}{2 \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot b_{losa}} \right) - M_{Uneg} \xrightarrow{\text{solve, } A_{s_{neg}}} \left[ \begin{array}{l} 3.7045926018521766607 \\ 0.030647398147823339302 \end{array} \right]$$

$$A_s := 0.030647 \text{ in}^2$$

### ACERO MÍNIMO

$$\rho_{min} := 0.0033 \quad b_{losa} := 12 \text{ in}$$

$$\phi_{varNo.4} := 0.4 \text{ in} \quad \text{PARA LOSAS SE ASUME EL DIÁMETRO DE VARILLAS NO.4}$$

$$d := t - rec - \frac{\phi_{varNo.4}}{2} = 3.774 \text{ in}$$

$$A_{s_{min}} := \rho_{min} \cdot b_{losa} \cdot d = 0.149 \text{ in}^2$$

SE UTILIZARÁN VARILLAS NO.3 @ 9 PULGADAS DE SEPARACIÓN

$$A_{s_{neg}} := 0.15 \text{ in}^2 \quad \text{ÁREA DE ACERO}$$

$$S := 9 \text{ in} \quad \text{SEPARACIÓN ENTRE VARILLAS}$$

### SEPARACIÓN MÁXIMA

$$S_1 := 3 \cdot t = 14.173 \text{ in}$$

AMBAS SON MAYORES A 9 PULGADAS, POR LO TANTO SÍ CHEQUEA

$$S_2 := 18 \text{ in}$$

### REVISIÓN DEL FACTOR $\phi$

$$a := \frac{A_{s_{neg}} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b_{losa}} = 0.294 \text{ in}$$

$$c := \frac{a}{\beta_1} = 0.346 \text{ in}$$

$$\epsilon_s := \frac{d \cdot 0.003}{c} = 0.033$$

$$\beta_1 := 0.85$$

$$0.033 > 0.005, \text{ POR LO TANTO } \phi := 0.9$$

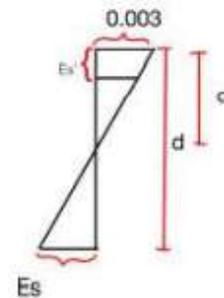


Figura 82. Diseño de viga secundaria, parte 1

**CARGAS DE DISEÑO SEGÚN CASOS DE CARGA:**

CASO 1  $W_{U1} := 1.4 \cdot CM = 594.525 \frac{lbf}{ft}$

CASO 2  $W_{U2} := 1.2 \cdot CM + 1.6 \cdot CV = 670.866 \frac{lbf}{ft}$

$W_{Umax} := W_{U2} = 670.866 \frac{lbf}{ft}$  CARGA ÚLTIMA DE DISEÑO

**MOMENTO ÚLTIMO EN EL CENTRO DE LA VIGA (POSITIVO)**

$M_{UC} := W_{Umax} \cdot \frac{L^2}{24} = 4.814 \text{ kip} \cdot \text{ft}$

**MOMENTO ÚLTIMO EN EL CENTRO DE LA VIGA DE ACUERDO A ETABS:**

$M_{UC,E} := 127.20 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 0.92 \text{ kip} \cdot \text{ft}$



EN ESTOS CÁLCULOS SE ENCUENTRA EL MOMENTO ÚLTIMO POSITIVO TEÓRICO, ASUMIENDO LA VIGA COMO I DE SOLO UNA LUZ, EMPOTRADA EN AMBOS EXTREMOS. EL MODELO DE ETABS LA TOMA COMO UNA VIGA CONTÍNUA, POR LO QUE EL MOMENTO PULTIMO ES DISTINTO. SE TOMARÁ EL VALOR MAYOR ENCONTRADO.

$MU := \max(M_{UC}, M_{UC,E}) = 4.814 \text{ kip} \cdot \text{ft}$

**CÁLCULO DEL ACERO DE REFUERZO A FLEXIÓN POR MOMENTO POSITIVO**

SE LE REQUIERE METER EL MÁXIMO PARA LLEGAR A LA DEFORMACIÓN UNITARIA EN TENSIÓN,  $\epsilon_t \geq 0.005$  PARA SER UN DISEÑO DÚCTIL

TABLA A.7 VALORES DE  $\rho$  BALANCEADO. DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO

	$\rho$ balanceado	0.0214	0.0285	0.0335	0.0377
Grado 60 60 000 lb/ptg <sup>2</sup> (413.7 MPa)	$\rho$ cuando $\epsilon_t = 0.904$	0.0155	0.0206	0.0243	0.0273
	$\rho$ cuando $\epsilon_t = 0.903$	0.0150	0.0181	0.0212	0.0239
	$\rho$ cuando $\epsilon_t = 0.9073$	0.0103	0.0138	0.0162	0.0182
	$\rho$ mínimo para flexión	0.0033	0.0033	0.0035	0.0039

PARA ACERO GRADO 60 Y CONCRETO DE 3000PSI:  $\rho := 0.0136$

Figura 83. Diseño de viga secundaria, parte 2

$$As1 := \rho \cdot b \cdot d = 0.525 \text{ in}^2 \quad a := \frac{As1 \cdot fy}{0.85 \cdot fc \cdot b} = 2.51 \text{ in} \quad \phi := 0.9$$

$$\phi Mn := \phi \cdot As1 \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 186723.718 \text{ lbf} \cdot \text{in} \quad Mu = 57769.098 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

$$Mu := 57769.098 \text{ LBF} \cdot \text{IN} \quad fy := 60000 \text{ PSI} \quad d := 7.843 \text{ IN} \quad a := 2.51 \text{ IN}$$

$$Mu = \phi \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \xrightarrow{\text{solve, As}} 0.16238586993186264589$$

$$\text{USAR 2 VARILLAS NO. 4 DE ACERO LONGITUDINAL INFERIOR} = As := 0.39 \text{ in}^2$$

$\phi Mn > Mu$  SI CHEQUEA, NO REQUIERE ACERO A COMPRESIÓN.  $\beta := 0.85$

#### VERIFICACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DEL ACERO A TENSIÓN

$$c := \frac{a}{\beta} = 116.258 \frac{1}{m} \cdot \text{in}$$

$$\text{DEFORMACIÓN DEL ACERO} \quad \epsilon_s := \frac{(d - c)}{c} \cdot 0.003 = 0.004968$$

$$\epsilon_y := \frac{fy}{E} = (3.001 \cdot 10^{-7}) \frac{1}{Pa}$$

$\epsilon_s > \epsilon_y$ , POR LO TANTO EL ACERO A TENSIÓN FLUYE Y  $\phi = 0.9$

#### VERIFICACIÓN DEL ACERO MÍNIMO

$$fy := 60000 \text{ psi} \quad d := 7.843 \text{ in}$$

$$As_{1min} := \frac{3 \cdot \sqrt{fc \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}}{fy} \cdot b \cdot d = 0.106 \text{ in}^2$$

< AS = 0.39 IN<sup>2</sup> SI CUMPLE

$$As_{2min} := \frac{200 \cdot b \cdot d \cdot \text{lbf}}{fy \cdot \text{in}^2} = 0.129 \text{ in}^2$$

< AS = 0.39 IN<sup>2</sup> SI CUMPLE

#### VERIFICACIÓN DE MOMENTOS ÚLTIMOS NEGATIVOS EN LA VIGA SECUNDARIA:

MOMENTO ÚLTIMO EN EL EXTREMO DE LA VIGA (NEGATIVO)

$$M_{ue} := W_{umax} \cdot \frac{L^2}{12} = 9.628 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

MOMENTO ÚLTIMO EN EL EXTREMO DE LA VIGA SEGÚN ETABS:

$$M_{ueE} := 175.22 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 1.267 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$



Figura 84. Diseño de viga secundaria, parte 3

$$Mu := \max(M_{ue}, M_{uee}) = 115538.196 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

CÁLCULO DEL ÁREA DE ACERO DE LA VIGA SECUNDARIA:

PARA ACERO GRADO 60 Y CONCRETO DE 3000PSI:  $\rho := 0.0136$

$$As := \rho \cdot b \cdot d = 0.525 \text{ in}^2 \quad a := \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot fc \cdot b} = 2.51 \text{ in}$$

$$\phi Mn := \phi \cdot As \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 186746.59 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

ASUMIENDO QUE EL ACERO A TENSION FLUYE:

$$fs := fy = 60 \text{ ksi} \quad \beta := 0.85 \quad \phi := 0.9$$

$$Mu := 115538.196 \text{ LBF} \cdot \text{IN} \quad fy := 60000 \text{ PSI} \quad d := 7.843 \text{ IN} \quad a := 2.51 \text{ IN}$$

$$Mu = \phi \cdot As_n \cdot fy \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \xrightarrow{\text{solve, } As_n} 0.32477173986372529178$$

$$\text{USAR 2 VARILLAS NO. 4 DE ACERO LONGITUDINAL SUPERIOR} = As := 0.39 \text{ in}^2$$

$\phi Mn > Mu$  SI CHEQUEA.

**VERIFICACIÓN DE LA DEFORMACIÓN DEL ACERO A TENSION**

$$c := \frac{a}{\beta} = 116.258 \frac{1}{m} \cdot \text{in}$$

$$\text{DEFORMACIÓN DEL ACERO} \quad \epsilon_s := \frac{(d - c)}{c} \cdot 0.003 = 0.004968$$

$$\epsilon_y := \frac{fy}{E} = (3.001 \cdot 10^{-4}) \frac{1}{Pa}$$

$\epsilon_s > \epsilon_y$ , POR LO TANTO EL ACERO A TENSION FLUYE Y  $\phi = 0.9$

**VERIFICACIÓN DEL ACERO MÍNIMO**

$$As_{1min} := \frac{3 \cdot \sqrt{fc \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}}{fy} \cdot b \cdot d = 0.106 \text{ in}^2 \quad fy := 60000 \text{ psi} \quad d := 7.843 \text{ in}$$

< AS = 0.39 IN2      SI CUMPLE

$$As_{2min} := \frac{200 \cdot b \cdot d \cdot \text{lbf}}{fy \cdot \text{in}^2} = 0.129 \text{ in}^2 \quad < AS = 0.39 \text{ IN2} \quad \text{SI CUMPLE}$$

**CÁLCULO DEL CORTANTE MÁXIMO EN LOS APOYOS**

$$R := \frac{L}{2} \cdot W_{umax} = 4.402 \text{ kip} \quad \text{REACCIÓN PROVOCADA EN LA CARA DE LA COLUMNA}$$

$$V_u := R = 4.402 \text{ kip} \quad \text{CORTANTE GENERADO EN LA CARA DE LA COLUMNA}$$

Figura 85. Diseño de viga secundaria, parte 4

$$V_{ud} := \frac{\left(\frac{L}{2} - d\right) \cdot V_u}{\frac{L}{2}} = 3.964 \text{ kip}$$

CORTANTE GENERADO A UNA DISTANCIA "D" DE LA CARA DE LA COLUMNA

#### CÁLCULO DEL CORTANTE SOPORTADO POR EL CONCRETO

$$V_n = V_c + V_s \quad \text{FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA A CORTANTE} \quad \phi := 0.75$$

$$V_{ud} = \phi \cdot V_c + \phi \cdot V_s$$

$$V_c := 2 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot b \cdot d = 4.228 \text{ kip} \quad V_{ud} = 3.964 \text{ kip}$$

$$\phi V_c := \frac{1}{2} \phi \cdot V_c = 1.586 \text{ kip}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c < V_u \quad \text{SI CUMPLE, POR LO TANTO LOS ESTRIBOS SE COLOCARÁN CONFORME AL ÁREA DE ACERO MÍNIMA DE REFUERZO AL CORTANTE.}$$

$$V_s := \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = 3755.271 \text{ lbf}$$

$$A_v := 0.11 \text{ in}^2 \quad \text{ÁREA REAL DEL ACERO DE LOS ESTRIBOS SUMINISTRADA POR VARILLA \#3}$$

$$S_j := \frac{2 \cdot A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = 27.569 \text{ in}$$

#### CÁLCULO DEL ACERO MÍNIMO PARA REFUERZO DE LOS ESFUERZOS CORTANTES EN APOYOS

$$n := 2 \quad \text{NÚMERO DE ALMAS EN EL ESTRIBO}$$

$$S_2 := \frac{n \cdot A_v \cdot f_y}{0.75 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot b} = 65.294 \text{ in}$$

$$S_3 := \frac{2 \cdot A_v \cdot f_y}{50 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot b} = 53.645 \text{ in}$$

#### SEPARACIÓN MÁXIMA SEGÚN ACI 318-14

$$V_s = 3.755 \text{ kip} < 4 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot b \cdot d = 8.456 \text{ kip}$$

$$S_{\max} := \frac{d}{2} = 3.922 \text{ in}$$

Figura 86. Diseño de viga secundaria, parte

$$S_{max2} := 24 \text{ in}$$

#### CORTANTE MÁXIMO DEL ACERO

$$V_{smax} := 8 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{lb^3}{in^2}} \cdot b \cdot d = 16.913 \text{ kip} > V_s = 3.755 \text{ kip} \quad \text{SI CUMPLE}$$

#### CONCLUSIÓN:

LA VIGA CON LAS DIMENSIONES ESPECIFICADAS EN EL PROYECTO, NECESITA REFUERZO A FLEXIÓN POR MOMENTO NEGATIVO QUE SE RESISTE CON 2 VARILLAS No.4 EN LA PARTE INFERIOR A LO LARGO DE TODA LA VIGA.

ADEMÁS, NECESITA 2 VARILLAS No.4 EN LA PARTE SUPERIOR A LO LARGO DE TODA LA VIGA PARA SOPORTAR LOS MOMENTOS POSITIVOS.

POR ÚLTIMO, NECESITA ESTRIBOS No.3 @ 3.92 PULGADAS PARA SUMINISTRAR EL ACERO EN EL ALMA PARA EL CORTANTE.

*Figura 87. Diseño de viga secundaria, parte 6*

## C. Diseño de viga principal en eje vertical

### VIGA PRINCIPAL VERTICAL

#### CÁLCULO DEL ACERO DE REFUERZO A FLEXIÓN POR MOMENTO NEGATIVO

##### PROPIEDADES

$$f_c := 3 \text{ ksi} \quad \text{RESISTENCIA DEL CONCRETO}$$

$$f_y := 60 \text{ ksi} \quad \text{GRADO DE ACERO}$$

$$\gamma_c := 2388 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} = 149.078 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3} \quad \text{PESO DEL CONCRETO}$$

$$L := 3 \text{ m} \quad \text{LARGO}$$

$$h := 30 \text{ cm} \quad \text{ALTURA DE VIGA}$$

$$b := 15 \text{ cm} \quad \text{ÁNCHO DE VIGA}$$

$$rec := 2 \text{ in} \quad \text{RECUBRIMIENTO}$$

$$h_{losa} := 12 \text{ cm} \quad \text{ESPESOR LOSA}$$

$$S := 1.5 \text{ m} \quad \text{ÁREA TRIBUTARIA DE LOSA}$$

$$h_{vs} := 25 \text{ cm} \quad \text{PERALTE DE VIGA SECUNDARIA}$$

$$b_{vs} := 12.5 \text{ cm} \quad \text{ÁNCHO VIGA SECUNDARIA}$$

$$L_{vs} := 4 \text{ m} \quad \text{LONGITUD VIGA SECUNDARIA}$$

##### CARGA MUERTA

$$W_{pvp} := (b \cdot h) \cdot \gamma_c = 72.21 \frac{\text{lbf}}{\text{ft}} \quad \text{PESO PROPIO DE VIGA PRINCIPAL}$$

$$W_{losa} := \gamma_c \cdot h_{losa} = 58.692 \text{ psf} \quad \text{PESO PROPIO DE LOSA}$$

$$W_{vs} := \gamma_c \cdot h_{vs} = 122.275 \text{ psf} \quad \text{PESO PROPIO DE VIGA SECUNDARIA}$$

$$W_{scm} := 17.409 \text{ psf}$$

$$W_{cv} := 20.482 \text{ psf}$$

##### CARGAS PUNTUALES

$$P_{losa} := (W_{losa} + W_{scm}) \cdot S \cdot L_{vs} = 4914.873 \text{ lbf}$$

$$P_{vs} := W_{vs} \cdot b_{vs} \cdot L_{vs} = 658.08 \text{ lbf}$$

Figura 88. Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 1

$$P_{cv} := W_{cv} \cdot S \cdot L_{vs} = 1322.798 \text{ lbf}$$

#### MOMENTO POR CARGAS MUERTAS

$$M_{cm1} := \frac{(P_{losa} + P_{vs}) \cdot L}{8} = 6856.488 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{cm2} := \frac{W_{pvp} \cdot L^2}{24} = 291.472 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

#### MOMENTO POR CARGA VIVA

$$M_{cv} := \frac{P_{cv} \cdot L}{8} = (1.627 \cdot 10^3) \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

#### MOMENTO DE DISEÑO SEGÚN LOS DIFERENTES CASOS

$$\text{CASO 1} \quad M_{U1} := 1.4 \cdot (M_{cm1} + M_{cm2}) = 10007.144 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$\text{CASO 2} \quad M_{U2} := 1.2 \cdot (M_{cm1} + M_{cm2}) + 1.6 \cdot M_{cv} = 11181.486 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

#### MOMENTOS POSITIVOS ÚLTIMOS DE DISEÑO

$$M_{umax} := M_{U2} = 134177.835 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

#### MOMENTO ÚLTIMO EN EL CENTRO DE LA VIGA DE ACUERDO A ETABS:

$$M_{uc_E} := 673.26 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 4.87 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$



#### PERALTE MÍNIMO

SEGÚN EL ACI EL PERALTE MÍNIMO DE LA VIGA PARA NO CHEQUEAR DEFLEXIÓN DEBE SER DE:

$$h_{min} := \frac{L}{21} = 5.624 \text{ in} < h = 11.811 \text{ in} \quad \text{CHEQUEA, POR LO TANTO NO SE CHEQUE DEFLEXIÓN}$$

#### PERALTE EFECTIVO

SE ASUME PREVIAMENTE VARILLAS NO. 8, CON DIÁMETRO IGUAL A  $\phi := 1 \text{ in}$

$$d := h - rec - \frac{\phi}{2} = 9.311 \text{ in}$$

Figura 89. Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 2

**VERIFICACIÓN PARA DETERMINAR SI REQUIERE DISEÑO DE ACERO COMO DOBLEMENTE REFORZADA**

CUANTÍA MÁXIMA PARA SER CONTROLADA POR TENSIÓN. TABLA A.7  $\rho_{max} := 0.0136$

CUANTÍA DE ACERO  $\rho := 0.18 \cdot \frac{f_c}{f_y} = 0.009$

**ACERO MÍNIMO**

$A_s := \rho_{max} \cdot b \cdot h = 0.949 \text{ in}^2$  UTILIZAR 2 VARILLAS No.7

$A_s := 1.27 \text{ in}^2$

ASUMIENDO QUE  $\epsilon_s < 0.005$   $\phi := 0.9$

$$M_n := \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b \cdot 2} \right) = 38.753 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**ÁREA DE ACERO MÍNIMO DE ACUERDO AL MOMENTO ÚLTIMO Y NOMINAL**

$$M_{umax} \leq \phi M_n$$

$$3 \cdot A_s \cdot 60000 \cdot \left( 9.311 - \frac{A_s \cdot 60000}{0.85 \cdot 3000 \cdot 5.906 \cdot 2} \right) - 134177.835 \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \left[ \begin{array}{l} 4.390078564375266421 \\ 0.28413654562473357896 \end{array} \right]$$

LA NUEVA ÁREA DE ACERO, PERMITE UTILIZAR UN NÚMERO DE VARILLA MENOR, POR LO TANTO,

UTILIZAR 2 VARILLAS No.5  $A_s := 0.61 \text{ in}^2$

**CHEQUEO DE ACERO MÍNIMO**

$$A_{s_{1min}} := \frac{3 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}}{f_y} \cdot b \cdot d = 0.151 \text{ in}^2 < A_s = 0.61 \text{ in}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

$$A_{s_{2min}} := \frac{200 \cdot b \cdot d \cdot \text{lbf}}{f_y \cdot \text{in}^2} = 0.183 \text{ in}^2 < A_s = 0.61 \text{ in}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

**CHEQUEO DE ACERO MEDIANTE CUANTÍA**

CUANTÍA MÁXIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{max} := 0.136$

CUANTÍA MÍNIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{min} := 0.003$

CUANTÍA DE ACERO  $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.011$

$\rho_{max} > \rho > \rho_{min}$  POR LO TANTO, SI CUMPLE  $\phi := 0.9$

Figura 90. Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 3

**VERIFICANDO FI**

$$\beta_1 = 0.85$$

$$c := \frac{f_y \cdot A_s}{0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b} = 2.859 \text{ in}$$

$$a := c \cdot \beta_1 = 2.43 \text{ in}$$

$$\epsilon_s := \frac{0.003}{c} \cdot d - 0.003 = 0.007 > 0.005, \text{ por lo tanto } \phi := 0.9$$

**ACERO PARA MOMENTO NEGATIVO ÚLTIMO DE DISEÑO**

**MOMENTO POR CARGAS MUERTAS**

$$M_{cm1} := \frac{(P_{losa} + P_{vs}) \cdot L}{8} = 6856.488 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{cm2} := \frac{W_{pvp} \cdot L^2}{12} = 582.945 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

**MOMENTO POR CARGA VIVA**

$$M_{cv} := \frac{P_{cv} \cdot L}{8} = (1.627 \cdot 10^3) \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

**MOMENTO DE DISEÑO SEGÚN LOS DIFERENTES CASOS**

CASO 1  $M_{U1} := 1.4 \cdot (M_{cm1} + M_{cm2}) = 10415.206 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$

CASO 2  $M_{U2} := 1.2 \cdot (M_{cm1} + M_{cm2}) + 1.6 \cdot M_{cv} = 11531.253 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$

$$M_{umax} := M_{U2} = 138375.037 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

**MOMENTO ÚLTIMO EN EL CENTRO DE LA VIGA DE ACUERDO A ETABS:**

$$M_{UE} := 986.38 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 7.135 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$



Figura 91. Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 4

**ÁREA DE ACERO MÍNIMO DE ACUERDO AL MOMENTO ÚLTIMO Y NOMINAL**

$$M_{umax} \leq \phi M_n \quad \phi := 0.9$$

$$M_{umax} \leq \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b \cdot 2} \right)$$

$$0.9 \cdot A_s \cdot 60000 \cdot \left( 9.311 - \frac{A_s \cdot 60000}{0.85 \cdot 3000 \cdot 5.906 \cdot 2} \right) - 138375.037 \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \begin{bmatrix} 4.3805533591916020461 \\ 0.29366175080839795393 \end{bmatrix}$$

UTILIZAR 2 VARILLAS No.4 PARA CUMPLIR CON EL ACERO MÍNIMO  $A_s := 0.39 \text{ in}^2$

**CHEQUEO DE ACERO MÍNIMO**

$$A_{s1min} := \frac{3 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{lbf}{in^2}}}{f_y} \cdot b \cdot d = 0.151 \text{ in}^2 < A_s = 0.39 \text{ IN}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

$$A_{s2min} := \frac{200 \cdot b \cdot d \cdot lbf}{f_y \cdot in^2} = 0.183 \text{ in}^2 < A_s = 0.39 \text{ IN}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

**CHEQUEO DE ACERO MEDIANTE CUANTÍA**

CUANTÍA MÁXIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{max} := 0.136$

CUANTÍA MÍNIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{min} := 0.003$

CUANTÍA DE ACERO  $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.007$

$\rho_{max} > \rho > \rho_{min}$  POR LO TANTO, SI CUMPLE  $\phi := 0.9$

**VERIFICANDO FI**

$\beta_1 := 0.85$

$c := \frac{f_y \cdot A_s}{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b} = 1.828 \text{ in}$

$a := c \cdot \beta_1 = 1.554 \text{ in}$

$\epsilon_s := \frac{0.003}{c} \cdot d - 0.003 = 0.012 > 0.005$ , por lo tanto  $\phi := 0.9$

Figura 92. Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 5

### CÁLCULO DE CORTANTE

$$\phi := 0.75 \quad \text{FACTOR DE REDUCCIÓN A CORTANTE}$$

$$\lambda := 1 \quad \text{FACTOR PARA CONCRETO DE PESO NORMAL}$$

### CORTE ÚLTIMO DE VIGA PRINCIPAL

#### CORTE POR CARGA MUERTA

$$V_{cm} := \frac{W_{pvp} \cdot L}{2} + \frac{P_{losa}}{2} + \frac{P_{vs}}{2} = 3141.84 \text{ lbf}$$

#### CORTE POR CARGA VIVA

$$V_{cv} := \frac{P_{cv}}{2} = 661.399 \text{ lbf}$$

### MAYORACIÓN DE CORTES

$$\text{CASO 1} \quad V_{u1} := 1.4 V_{cm} = 4398.576 \text{ lbf}$$

$$\text{CASO 2} \quad V_{u2} := 1.2 V_{cm} + 1.6 \cdot V_{cv} = 4828.447 \text{ lbf}$$

$$V_u := \max(V_{u1}, V_{u2}) = 4828.447 \text{ lbf}$$

### CORTANTE DE ETABS

$$V_{uE} := 1875.57 \text{ kgf} = 4134.924 \text{ lbf}$$

### VERIFICACIÓN DE ESFUERZO DE CORTE

$$\phi V_c := \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot 2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{psi}} \cdot b \cdot d = 2258.795 \text{ lbf}$$

$$\phi V_c \leq V_u \quad \text{POR LO TANTO, SI REQUIERE ESTRIBOS}$$

### CORTE ÚLTIMO A UNA DISTANCIA "D" DE LA CARA DE APOYO

$$\frac{V_u}{0.5 L} = \frac{V_{ud}}{0.5 \cdot L - d}$$

$$V_{ud} := \frac{V_u}{0.5 L} (0.5 L - d) = 4.067 \text{ kip}$$

### CORTANTE TOMADO POR EL ACERO DE REFUERZO

$$V_c := 2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{psi}} \cdot b \cdot d = 6023.454 \text{ lbf}$$

### CÁLCULO DEL ACERO MÍNIMO PARA REFUERZO DE LOS ESFUERZOS CORTANTES EN APOYOS

NÚMERO DE ALMAS EN EL ESTRIBO

$$n := 2$$

Figura 93. Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 6

DISTANCIA TEÓRICA DE LOS ESTRIBOS DE EJE A EJE  $s := \frac{d}{n} = 4.656 \text{ in}$

DISTANCIA REAL DE LOS ESTRIBOS EJE A EJE, POR MÉTODOS CONSTRUCTIVOS  $s := 24 \text{ in}$

$$A_{v1min} := 0.75 \cdot \sqrt{f_c \cdot psi} \cdot \frac{b}{f_y} \cdot s = 0.097 \text{ in}^2$$

$$A_{v2min} := 50 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot \frac{b}{f_y} \cdot s = 0.118 \text{ in}^2$$

$A_v := 0.11 \text{ in}^2$  ÁREA DE ACERO DE LOS ESTRIBOS SUMINISTRADA POR VARILLA #3

#### RESISTENCIA AL CORTANTE

$$V_s := A_v \cdot f_y \cdot n = 13.2 \text{ kip}$$

$$\phi V_n := \phi V_c + \phi \cdot V_s = 12.159 \text{ kip} > V_{ud} = 4.067 \text{ kip} \quad \text{POR LO TANTO, SI CUMPLE}$$

#### DISTANCIA MÁXIMA PERMITIDA ENTRE ESTRIBOS DE EJE A EJE

$$V_s = 13.2 \text{ kip} > 4 \cdot \sqrt{f_c \cdot psi} \cdot b \cdot d = 12.047 \text{ kip} \quad \text{POR LO TANTO, LOS ESPACIAMIENTOS SE REDUCEN}$$

$$s_{max1} := \frac{d}{4} = 2.328 \text{ in}$$

$$s_{max2} := \frac{24 \text{ in}}{2} = 12 \text{ in}$$

#### CORTANTE MÁXIMO DEL ACERO

$$V_{smax} := 8 \cdot \sqrt{f_c \cdot psi} \cdot b \cdot d = 24.094 \text{ kip} > V_s = 13.2 \text{ kip} \quad \text{POR LO TANTO, SI CUMPLE}$$

#### UBICACIÓN A PARTIR DE LA CUAL YA NO SE REQUIEREN ESTRIBOS TEÓRICAMENTE

$$\frac{V_u}{0.5 \cdot L} = \frac{0.5 \cdot \phi V_c}{0.5 \cdot L - x} \quad x := 0.5 \cdot L - \frac{\phi V_c \cdot L \cdot 0.5 \cdot 0.5}{V_u} = 45.242 \text{ in}$$

#### CONCLUSIÓN:

LA VIGA PRINCIPAL VERTICAL, CON LAS DIMENSIONES ESPECIFICADAS EN EL PROYECTO, NECESITA REFUERZO A FLEXIÓN POR MOMENTO NEGATIVO QUE SE RESISTE CON 2 VARILLAS NO.4 EN LA PARTE INFERIOR A LO LARGO DE TODA LA VIGA.

ADEMÁS, NECESITA 2 VARILLAS NO.5 EN LA PARTE SUPERIOR A LO LARGO DE TODA LA VIGA PARA SOPORTAR LOS MOMENTOS POSITIVOS.

POR ÚLTIMO, NECESITA ESTRIBOS NO.3 PARA SUMINISTRAR EL ACERO EN EL ALMA PARA EL CORTANTE.

Figura 94. Diseño de viga principal en ejes verticales, parte 7

## D. Diseño de viga principal en eje horizontal

### VIGA PRINCIPAL HORIZONTAL

#### CÁLCULO DEL ACERO DE REFUERZO A FLEXIÓN POR MOMENTO NEGATIVO

##### PROPIEDADES

$f_c$	3 <b>ksi</b>	RESISTENCIA DEL CONCRETO
$f_y$	60 <b>ksi</b>	GRADO DE ACERO
$\gamma_c$	2388 $\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$ 149.078 $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}^3}$	PESO DEL CONCRETO
$L$	4 <b>m</b>	LARGO
$h$	40 <b>cm</b>	ALTURA DE VIGA
$b$	20 <b>cm</b>	ANCHO DE VIGA
$rec$	2 <b>in</b>	RECUBRIMIENTO
$h_{losa}$	12 <b>cm</b>	ESPESOR LOSA
$S$	1.5 <b>m</b>	ÁREA TRIBUTARIA DE LOSA

##### CARGA MUERTA

$W_{pvp}$	$b h \gamma_c$	128.373 $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$	PESO PROPIO DE VIGA PRINCIPAL
$W_{losa}$	$\gamma_c h_{losa}$	58.692 <b>psf</b>	PESO PROPIO DE LOSA
$W_{scm}$	17.409 <b>psf</b>		CARGA MUERTA DE MORTERO + INSTALACIONES
$W_{cv}$	20.482 <b>psf</b>		

##### CARGA TRIBUTARIA SOBRE VIGA PRINCIPAL EN EJES HORIZONTALES + PESO PROPIO

$CM$	$W_{losa}   W_{scm}   S   W_{pvp}$	502.886 $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$
$CV$	$W_{cv}   S$	100.797 $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$

##### CARGAS DE DISEÑO SEGÚN CASOS DE CARGA:

CASO 1	$W_{U1}$	1.4 $CM$	704.041 $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$
CASO 2	$W_{U2}$	1.2 $CM   1.6 CV$	764.739 $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$
$W_{umax}$	$W_{U2}$	764.739 $\frac{\text{lbf}}{\text{ft}}$	CARGA ÚLTIMA DE DISEÑO

Figura 95. Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 1

### MOMENTOS POSITIVOS ÚLTIMOS DE DISEÑO

$$M_{uc} := W_{umax} \cdot \frac{L^2}{24} = 5.488 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### MOMENTO ÚLTIMO EN EL CENTRO DE LA VIGA DE ACUERDO A ETABS:

$$M_{uc,E} := 691.81 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 5.004 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$



### PERALTE MÍNIMO

SEGÚN EL ACI EL PERALTE MÍNIMO DE LA VIGA PARA NO CHEQUEAR DEFLEXIÓN DEBE SER DE:

$$h_{min} := \frac{L}{21} = 7.499 \text{ in} < h = 15.748 \text{ in} \quad \text{CHEQUEA, POR LO TANTO NO SE CHEQUE DEFLEXIÓN}$$

### PERALTE EFECTIVO

SE ASUME PREVIAMENTE VARILLAS NO.8, CON DIÁMETRO IGUAL A  $\phi = 1 \text{ in}$

$$d := h - rec - \frac{\phi}{2} = 13.248 \text{ in}$$

### VERIFICACIÓN PARA DETERMINAR SI REQUIERE DISEÑO DE ACERO COMO DOBLEMENTE REFORZADA

CUANTÍA MÁXIMA PARA SER CONTROLADA POR TENSIÓN. TABLA A.7  $\rho_{max} := 0.0136$

CUANTÍA DE ACERO  $\rho := 0.18 \cdot \frac{f_c}{f_y} = 0.009$

### ACERO MÍNIMO

$$A_s := \rho_{max} \cdot b \cdot h = 1.686 \text{ in}^2 \quad \text{UTILIZAR 3 VARILLAS NO.7}$$

$$A_s := 1.8 \text{ in}^2$$

ASUMIENDO QUE  $\epsilon_s < 0.005$   $\phi := 0.9$

$$M_n := \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b \cdot 2} \right) = 85.525 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### ÁREA DE ACERO MÍNIMO DE ACUERDO AL MOMENTO ÚLTIMO Y NOMINAL

$$M_{umax} \leq \phi M_n$$

$$0.9 \cdot A_s \cdot 60000 \cdot \left( 13.248 - \frac{A_s \cdot 60000}{0.85 \cdot 3000 \cdot 7.874 \cdot 2} \right) - 65852.671 \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \left[ \begin{array}{l} 8.7737267376296944311 \\ 0.093027182370305568935 \end{array} \right]$$

Figura 96. Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 2

LA NUEVA ÁREA DE ACERO, PERMITE UTILIZAR UN NÚMERO DE VARILLA MENOR, POR LO TANTO,

UTILIZAR 3 VARILLAS No.5

$$A_s := 0.91 \text{ in}^2$$

**CHEQUEO DE ACERO MÍNIMO**

$$A_{s1min} := \frac{3 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{lbf}{in^2}}{f_y} \cdot b \cdot d = 0.286 \text{ in}^2 < A_s = 0.91 \text{ in}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

$$A_{s2min} := \frac{200 \cdot b \cdot d \cdot \frac{lbf}{in^2}}{f_y \cdot in^2} = 0.348 \text{ in}^2 < A_s = 0.91 \text{ in}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

**CHEQUEO DE ACERO MEDIANTE CUANTÍA**

CUANTÍA MÁXIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{max} := 0.136$

CUANTÍA MÍNIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{min} := 0.003$

CUANTÍA DE ACERO  $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.009$

$\rho_{max} > \rho > \rho_{min}$  POR LO TANTO, SI CUMPLE  $\phi := 0.9$

**VERIFICANDO FI**

$\beta_1 := 0.85$

$c := \frac{f_y \cdot A_s}{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b} = 3.199 \text{ in}$

$a := c \cdot \beta_1 = 2.719 \text{ in}$

$\epsilon_s := \frac{0.003}{c} \cdot d - 0.003 = 0.009 > 0.005$ , por lo tanto  $\phi := 0.9$

**ACERO PARA MOMENTO NEGATIVO ÚLTIMO DE DISEÑO**

$M_{uc} := W_{umax} \cdot \frac{L^2}{12} = 10.975 \text{ kip} \cdot \text{ft}$

**MOMENTO ÚLTIMO EN EL CENTRO DE LA VIGA DE ACUERDO A ETABS:**

$M_{ue} := 1340.56 \text{ kgf} \cdot \text{m} = 9.696 \text{ kip} \cdot \text{ft}$

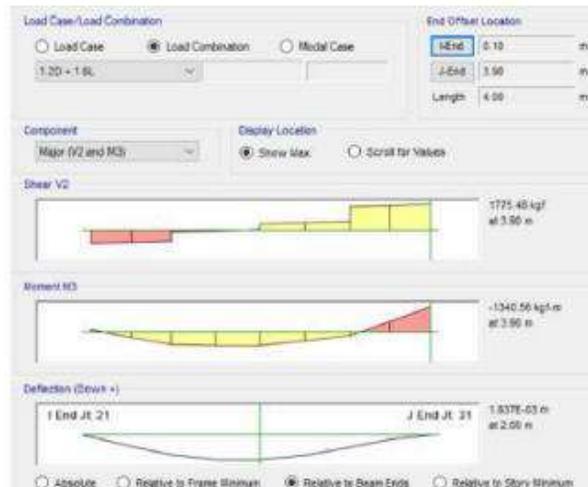


Figura 97. Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 3

**ÁREA DE ACERO MÍNIMO DE ACUERDO AL MOMENTO ÚLTIMO Y NOMINAL**

$$M_{umax} \leq \phi M_n \quad \phi := 0.9$$

$$M_{umax} \leq \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot b \cdot 2} \right)$$

$$0.9 \cdot A_s \cdot 60000 \cdot \left( 9.311 - \frac{A_s \cdot 60000}{0.85 \cdot 3000 \cdot 7.874 \cdot 2} \right) - 131705.341 \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \begin{bmatrix} 0.27399368800897234685 \\ 5.9577655019910276531 \end{bmatrix}$$

UTILIZAR 2 VARILLAS NO.4 PARA CUMPLIR CON EL ACERO MÍNIMO  $A_s := 0.39 \text{ in}^2$

**CHEQUEO DE ACERO MÍNIMO**

$$A_{s1min} := \frac{3 \cdot \sqrt{f_c \cdot \frac{lbf}{in^2}}}{f_y} \cdot b \cdot d = 0.286 \text{ in}^2 < A_s = 0.39 \text{ in}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

$$A_{s2min} := \frac{200 \cdot b \cdot d \cdot \frac{lbf}{in^2}}{f_y \cdot in^2} = 0.348 \text{ in}^2 < A_s = 0.39 \text{ in}^2 \quad \text{SI CUMPLE}$$

**CHEQUEO DE ACERO MEDIANTE CUANTÍA**

CUANTÍA MÁXIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{max} := 0.136$

CUANTÍA MÍNIMA PARA SER CONTROLADA A TENSIÓN  $\rho_{min} := 0.003$

CUANTÍA DE ACERO  $\rho := \frac{A_s}{b \cdot d} = 0.004$

$\rho_{max} > \rho > \rho_{min}$  POR LO TANTO, SI CUMPLE  $\phi := 0.9$

**VERIFICANDO FI**

$\beta_1 := 0.85$

$$c := \frac{f_y \cdot A_s}{0.85 \cdot f_c \cdot \beta_1 \cdot b} = 1.371 \text{ in}$$

$a := c \cdot \beta_1 = 1.165 \text{ in}$

$\epsilon_s := \frac{0.003}{c} \cdot d - 0.003 = 0.026 > 0.005$ , por lo tanto  $\phi := 0.9$

Figura 98. Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 4

### CÁLCULO DE CORTANTE

$$\phi := 0.75 \quad \text{FACTOR DE REDUCCIÓN A CORTANTE}$$

$$\lambda := 1 \quad \text{FACTOR PARA CONCRETO DE PESO NORMAL}$$

### CORTE ÚLTIMO DE VIGA PRINCIPAL

$$V_u := \frac{W_{umax} \cdot L}{2} = 5017.974 \text{ lbf}$$

### CORTANTE DE ETABS

$$V_{uE} := 1775.48 \text{ kgf} = 3914.263 \text{ lbf}$$

### VERIFICACIÓN DE ESFUERZO DE CORTE

$$\phi V_c := \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot 2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{psi}} \cdot b \cdot d = 4285.184 \text{ lbf}$$

$$\phi V_c \leq V_u \quad \text{POR LO TANTO, SI REQUIERE ESTRIBOS}$$

### CORTE ÚLTIMO A UNA DISTANCIA "D" DE LA CARA DE APOYO

$$\frac{V_u}{0.5 L} = \frac{V_{ud}}{0.5 \cdot L - d}$$

$$V_{ud} := \frac{V_u}{0.5 L} (0.5 L - d) = 4.174 \text{ kip}$$

### CORTANTE TOMADO POR EL ACERO DE REFUERZO

$$V_c := 2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{psi}} \cdot b \cdot d = 11427.159 \text{ lbf}$$

### CÁLCULO DEL ACERO MÍNIMO PARA REFUERZO DE LOS ESFUERZOS CORTANTES EN APOYOS

$$\text{NÚMERO DE ALMAS EN EL ESTRIBO} \quad n := 2$$

$$\text{DISTANCIA TEÓRICA DE LOS ESTRIBOS DE EJE A EJE} \quad s := \frac{d}{n} = 6.624 \text{ in}$$

$$\text{DISTANCIA REAL DE LOS ESTRIBOS EJE A EJE, POR MÉTODOS CONSTRUCTIVOS} \quad s := 24 \text{ in}$$

$$A_{v1min} := 0.75 \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{psi}} \cdot \frac{b}{f_y} \cdot s = 0.129 \text{ in}^2$$

$$A_{v2min} := 50 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot \frac{b}{f_y} \cdot s = 0.157 \text{ in}^2$$

$$A_v := 0.11 \text{ in}^2 \quad \text{ÁREA DE ACERO DE LOS ESTRIBOS SUMINISTRADA POR VARILLA \#3}$$

Figura 99. Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 5

### RESISTENCIA AL CORTANTE

$$V_s := A_v \cdot f_y \cdot n = 13.2 \text{ kip}$$

$$\phi V_n := \phi V_c + \phi \cdot V_s = 14.185 \text{ kip} > V_{ud} = 4.174 \text{ kip} \quad \text{POR LO TANTO, SI CUMPLE}$$

### DISTANCIA MÁXIMA PERMITIDA ENTRE ESTRIBOS DE EJE A EJE

$$V_s = 13.2 \text{ kip} < 4 \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{psi}} \cdot b \cdot d = 22.854 \text{ kip} \quad \text{POR LO TANTO, SI CUMPLE}$$

$$S_{max1} := \frac{d}{2} = 6.624 \text{ in}$$

$$S_{max2} := 24 \text{ in}$$

### CORTANTE MÁXIMO DEL ACERO

$$V_{s_{max}} := 8 \cdot \sqrt{f_c \cdot \text{psi}} \cdot b \cdot d = 45.709 \text{ kip} > V_s = 13.2 \text{ kip} \quad \text{POR LO TANTO, SI CUMPLE}$$

### UBICACIÓN A PARTIR DE LA CUAL YA NO SE REQUIEREN ESTRIBOS TEÓRICAMENTE

$$\frac{V_u}{0.5 \cdot L} = \frac{0.5 \cdot \phi V_c}{0.5 \cdot L - x} \quad x := 0.5 \cdot L - \frac{\phi V_c \cdot L \cdot 0.5 \cdot 0.5}{V_u} = 45.119 \text{ in}$$

### CONCLUSIÓN:

LA VIGA PRINCIPAL VERTICAL, CON LAS DIMENSIONES ESPECIFICADAS EN EL PROYECTO, NECESITA REFUERZO A FLEXIÓN POR MOMENTO NEGATIVO QUE SE RESISTE CON 2 VARILLAS NO.4 EN LA PARTE INFERIOR A LO LARGO DE TODA LA VIGA.

ADEMÁS, NECESITA 3 VARILLAS NO.5 EN LA PARTE SUPERIOR A LO LARGO DE TODA LA VIGA PARA SOPORTAR LOS MOMENTOS POSITIVOS.

POR ÚLTIMO, NECESITA ESTRIBOS NO.3 PARA SUMINISTRAR EL ACERO EN EL ALMA PARA EL CORTANTE.

Figura 100. Diseño de viga principal en ejes horizontales, parte 6

## E. Diseño de columna

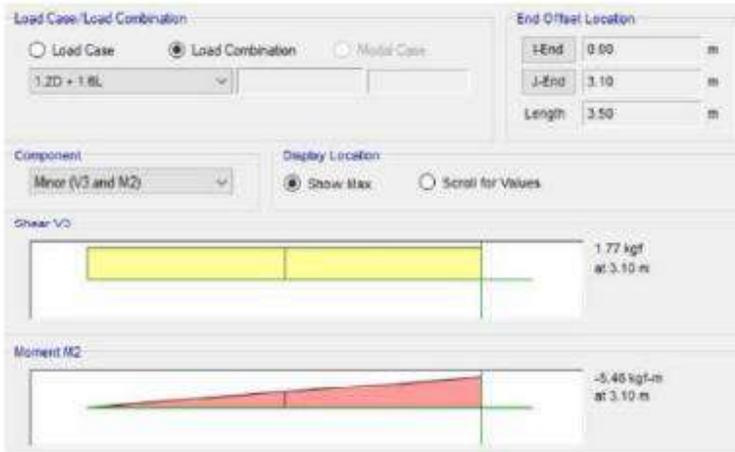
### COLUMNA CUADRADA

A PARTIR DEL MODELO DE LA ESTRUCTURA EN EL SOFTWARE ETABS, LOS RESULTADOS SON LOS SIGUIENTES:

MOMENTO Y CORTE MÁXIMOS  
EN DIRECCIÓN DEL EJE X

$$M_{Xmax} = 255.01 \text{ kgf m}$$

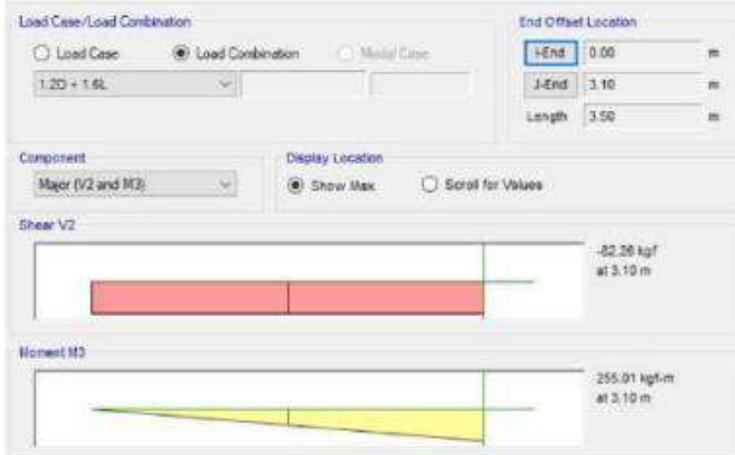
$$V_{Xmax} = 82.26 \text{ kgf}$$



MOMENTO Y CORTE MÁXIMOS  
EN DIRECCIÓN DEL EJE Y

$$M_{Ymax} = 255.01 \text{ kgf m}$$

$$V_{Ymax} = 82.26 \text{ kgf}$$



DEBIDO A QUE LAS COLUMNAS SON ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXO-COMPRESIÓN, ES NECESARIO EVALUAR LOS DIAGRAMAS DE FLEXIÓN

CORTE AXIAL MÁXIMO

$$P = 4061.29 \text{ kgf} \quad 8.954 \text{ kip}$$

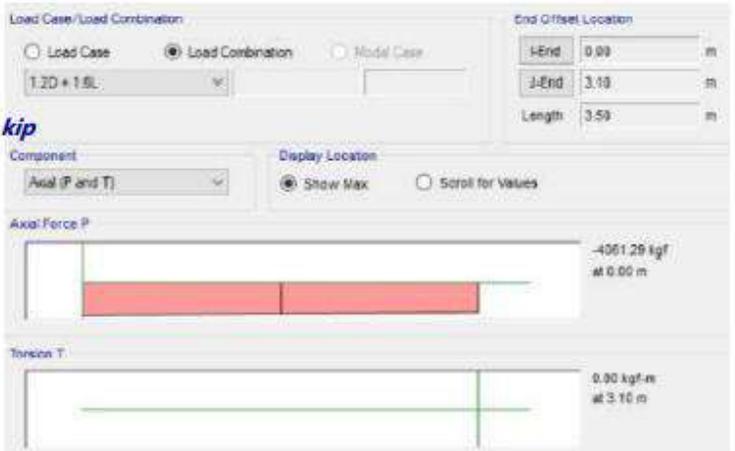


Figura 101. Diseño de columna, parte 1

**PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS**

$f_c$	3 <b>ksi</b>		RESISTENCIA DEL CONCRETO
$f_y$	60 <b>ksi</b>		GRADO DE ACERO
$\gamma_c$	2388 $\frac{kgf}{m^3}$	149.078 $\frac{lbf}{ft^3}$	PESO DEL CONCRETO
$\phi$	0.75		FACTOR DE REDUCCIÓN
$b$	20 <b>cm</b>	$h$ 20 <b>cm</b>	ANCHO Y ALTO DE COLUMNA
$rec$	2.5 <b>in</b>		RECUBRIMIENTO DE LA COLUMNA A CENTROIDE DE ACERO DE REFUERZO
$\beta$	0.85		
$\epsilon_c$	0.003	$\epsilon'_c$ 0.002	$\epsilon_y$ $\frac{f_y}{29000}$ <b>ksi</b> 0.002
$A_c$	$b \cdot h$ 62 <b>in<sup>2</sup></b>		
$c$	$\frac{b \cdot \epsilon_c}{\epsilon_c   \epsilon'_c}$ 4.724 <b>in</b>		
$a$	$c \cdot \beta$ 4.016 <b>in</b>		

**CÁLCULO DE DEFORMACIONES DE ACERO**

$$\epsilon'_s = \frac{\epsilon_c \cdot c \cdot rec}{c} = 0.0014 \qquad \epsilon_s = \frac{\epsilon_c \cdot b \cdot c \cdot rec}{c} = 0.00041$$

$\epsilon'_s > \epsilon_s$ , por lo tanto el acero en compresión cede

**CARGA Y MOMENTO NOMINAL**

$$P_n = \frac{P}{\phi} = 11.938 \text{ **kip**}$$

ANÁLISIS RESPECTO A X

$$M_{nX} = \frac{M_{Xmax}}{\phi} = 29.512 \text{ **kip in**}$$

ANÁLISIS RESPECTO A Y

$$M_{nY} = \frac{M_{Ymax}}{\phi} = 29.512 \text{ **kip in**}$$

$$M_n = \sqrt{M_{nX}^2 + M_{nY}^2} = 4.919 \text{ **kip ft**}$$

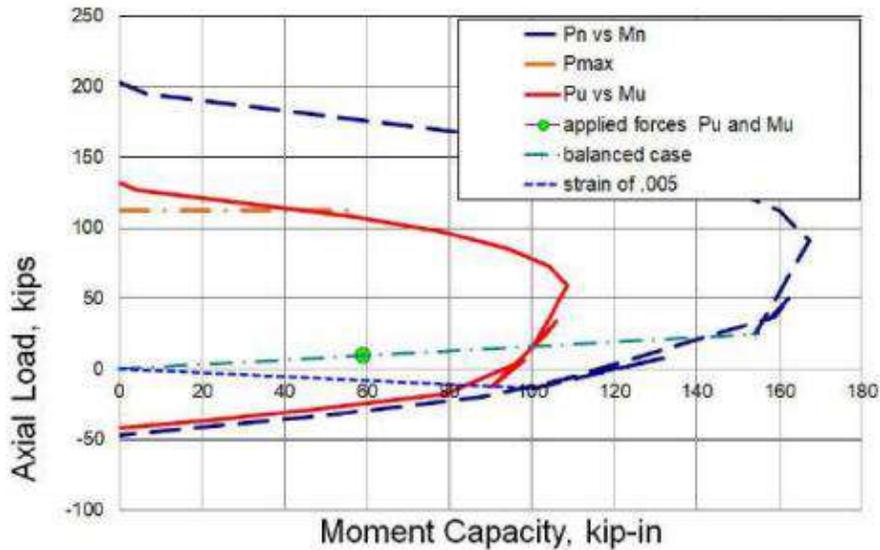
EL PORCENTAJE DE ACERO LONGITUDINAL NO DEBE SER MENOR QUE 1% DEL ÁREA BRUTA DE UNA COLUMNA SEGÚN EL ARTÍCULO 10.6.1.1. ADEMÁS, EL PORCENTAJE MÁXIMO DE ACERO NO DEBE EXCEDER EL 8% DEL ÁREA BRUTA, PREFERIBLEMENTE DEBE SER MENOR AL 4% CUANDO SE REQUIERA EMPALMAR POR TRASLAPLO DE BARRAS. ASUMIENDO UN VALOR DE  $\rho = 0.01$

$$A_{smin} = 0.01 A_c = 0.62 \text{ **in}^2 \text{ } \parallel \parallel A_s = \rho A_c = 0.62 \text{ **in}^2 \text{ } \parallel \parallel A_{smax} = 0.04 A_c = 2.48 \text{ **in}^2******$$

Figura 102. Diseño de columna, parte 2

EL NÚMERO MÍNIMO DE VARILLAS LONGITUDINALES PERMISIBLES EN MIEMBROS A COMPRESIÓN ES: 4 VARILLAS CON ESTRIBOS RECTANGULARES O CIRCULARES. POR LO TANTO, SE DECIDE UTILIZAR 4 VARILLAS NO.4

$$A_s = 0.78 \text{ in}^2$$



POR MEDIO DEL DIAGRAMA DE INTERACCIÓN, SE PUEDE OBSERVAR QUE LA COLUMNA SE UBICA COMO UN CASO BALANCEADO. SE GRAFICÓ CON LA ASUNCIÓN QUE EL ELEMENTO SOLO NECESITA EL ACERO MÍNIMO PARA EL REFUERZO LONGITUDINAL, CON LOS VALORES OBTENIDOS, SE CONFIRMA QUE NO SE NECESITA MÁS ACERO PARA QUE EL ELEMENTO PUEDA SOPORTAR LAS FUERZAS A LAS CUALES ESTÁ SOMETIDO DEBIDO A QUE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE CONCRETO ES SUFICIENTE PARA HACERLO.

**FUERZA CORTANTE EN COLUMNAS**

$$\lambda = 1$$

$$d \text{ rec } 5.374 \text{ in}$$

$$V_c = 2 \cdot 1 \cdot \frac{P}{2000} \cdot A_c \cdot \lambda \sqrt{f_c} \text{ psi } b \cdot d = 4.97 \text{ kip}$$

$$\phi \frac{V_c}{2} = 1.864 \text{ kip}$$

DERIBO A QUE  $\phi V_c$  ES MENOR A LOS CORTES OBTENIDOS POR ETARAS, NO ES NECESARIO CHEQUEAR LAS SEPARACIONES DEL REFUERZO TRANSVERSAL, EN ESTE CASO SI SE CALCULARÁ CON LA FINALIDAD DE CHEQUEAR LAS SEPARACIONES MÁXIMAS QUE DICTA EL CÓDIGO ACI.

$$\phi = 0.65 \quad \text{PARA COLUMNAS CON ESTRIBOS}$$

$$\phi \frac{V_c}{2} = \frac{1}{2} \phi \cdot 2 \cdot \lambda \sqrt{f_c} \text{ psi } b \cdot d = 1.507 \text{ kip} < V_c \quad \text{POR LO TANTO, SI SE NECESITAN ESTRIBOS}$$

Figura 103. Diseño de columna, parte 3

CUANDO SE USAN COLUMNAS CON ESTRIBOS, ÉSTOS NO DEBERÁN SER MENORES A #3. SIEMPRE QUE LAS VARILLAS LONGITUDINALES SEAN DEL #10 O MENORES, SEGÚN EL CÓDIGO ACI SECCIÓN 25.7.2.1

LA SEPARACIÓN CENTRO A CENTRO DE LOS ESTRIBOS NO DEBERÁ SER MAYOR QUE 16 VECES EL DIÁMETRO DE LAS VARILLAS LONGITUDINALES, 48 VECES EL DIÁMETRO DE LOS ESTRIBOS, NI QUE LA MENOR DIMENSIÓN LATERAL DE LA COLUMNA SEGÚN EL CÓDIGO ACI 318-14 SECCIÓN 25.7.2.1.

$$V_{ud} = V_{cmax} + V_{max} = 0.363 \text{ kip}$$

$$V_s = \frac{V_{ud} - \phi V_c}{\phi} = 4.412 \text{ kip}$$

$$V_s = 4.412 \text{ kip}$$

REFUERZO TRANSVERSAL = ESTRIBOS NO.3

REFUERZO LONGITUDINAL = 4 NO.4

$$d_{no.3} = 0.375 \text{ in}$$

$$A_s = 0.78 \text{ in}^2$$

$$A_{No.3} = 0.11 \text{ in}^2$$

$$d_s = 0.5 \text{ in}$$

$$A_v = 2 A_{No.3} = 0.22 \text{ in}^2$$

#### SEPARACIÓN

$$S1 = 16 d_s = 8 \text{ in}$$

$$S2 = 48 d_{no.3} = 18 \text{ in}$$

$$S3 = 0.20 \text{ m} = 7.874 \text{ in}$$

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s} = 16.078 \text{ in}$$

#### CONCLUSIÓN:

SE COLOCARAN 4 VARILLAS NO.4 LONGITUDINALMENTE Y ESTRIBOS #3 @ 8 PULGADAS

Figura 104. Diseño de columna, parte 4

## F. Diseño de zapata

### ZAPATA

#### PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS

$f_c$	3 <i>ksi</i>	RESISTENCIA DEL CONCRETO
$f_y$	60 <i>ksi</i>	GRADO DE ACERO
$\gamma_c$	2388 $\frac{kgf}{m^3}$ 149.078 $\frac{lbf}{ft^3}$	PESO DEL CONCRETO
$\gamma_{suelo}$	1680 $\frac{kgf}{m^3}$ 104.879 $\frac{lbf}{ft^3}$	PESO DEL SUELO, SEGÚN ESTUDIO DE SUELOS
$b_{col}$	20 <i>cm</i>	ANCHO DE COLUMNA
$prof$	1 <i>m</i>	PROFUNDIDAD DE LA ZAPATA
$\alpha_s$	40	PARÁMETRO ALFA
$rec$	3 <i>in</i>	RECUBRIMIENTO
$\phi_{No.8}$	1 <i>in</i>	DIÁMETRO DE VARILLA No.8
$q_a$	5000 $\frac{lbf}{ft^2}$	PRESIÓN DEL SUELO

#### PROPUESTA DE ESPESOR INICIAL

$h$	15 <i>in</i>	ESPESOR
$d$	$h \setminus rec \setminus \frac{\phi_{No.8}}{2}$ 11.5 <i>in</i>	PERALTE EFECTIVO

#### CARGAS APLICADAS A LA ZAPATA

$P_d$	15.238 <i>kip</i>	CARGA PUNTUAL MUERTA
$P_l$	1.323 <i>kip</i>	CARGA PUNTUAL VIVA
CARGA ÚLTIMA COMBINACIÓN 1	$P_{u1}$ 1.4 $P_d$ 21.333 <i>kip</i>	
CARGA ÚLTIMA COMBINACIÓN 2	$P_{u2}$ 1.2 $P_d$ 1.6 $P_l$ 20.402 <i>kip</i>	
$P_{umax}$	$\max P_{u1} \setminus P_{u2}$ 21.333 <i>kip</i>	CARGA ÚLTIMA

#### CÁLCULO DE PRESIÓN ADMISIBLE DEL SUELO

$$q_e = q_a \setminus h \setminus \gamma_c \setminus prof \setminus h \setminus \gamma_{suelo} = 4600.66 \text{ psf}$$

Figura 105. Diseño de zapata, parte 1

**ÁREA REQUERIDA PARA LA ZAPATA**

$$A_r = \frac{P_{u1} + P_{u2}}{q_e} = 1306.318 \text{ in}^2$$

$$b = \sqrt{A_r} = 36.143 \text{ in} \quad b = 36.5 \text{ in} \quad \text{B DE ZAPATA}$$

**PRESIÓN ÚLTIMA DE CONTACTO**

$$q_u = \frac{P_{u\max}}{b \cdot b} = 2.306 \frac{\text{kip}}{\text{ft}^2}$$

**CORTANTE EN 2 DIRECCIONES O POR PUNZONAMIENTO**

COMO LA COLUMNA TIENE BASE DE 7.87 PULGADAS, SE GENERA UN PUNZONAMIENTO A UNA DISTANCIA D/2 DEL ROSTRO EXTERNO DE LA COLUMNA.

$$a = \frac{b_{col}}{2} = d = 19.374 \text{ in} \quad \text{DISTANCIA DE CADA LADO DEL PERÍMETRO CRÍTICO}$$

$$b_o = 4 \cdot a = 77.496 \text{ in} \quad \text{PERÍMETRO CRÍTICO}$$

$$V_{u2} = b \cdot a^2 \cdot q_u = 4.697 \text{ kip} \quad \text{CORTANTE EN 2 DIRECCIONES}$$

**PERALTE EFECTIVO REQUERIDO**

$$\phi = 0.75 \quad \text{FI PARA ZAPATAS}$$

$$\lambda = 1 \quad \text{LAMBDA PARA CONCRETO DE PESO NORMAL}$$

$$d_2 = \frac{V_{u2}}{\phi \cdot 4 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_o} = 0.369 \text{ in} < d = 11.5 \text{ in} \quad \text{SI CUMPLE}$$

COMO  $\beta_c = 1$  NO APLICA LA ECUACIÓN 2 PARA PUNZONAMIENTO

$$d_3 = \frac{V_{u2}}{0.75 \cdot \alpha_s \cdot \frac{d}{b_o} \cdot 2 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_o} = 0.186 \text{ in} < d = 11.5 \text{ in} \quad \text{SI CUMPLE}$$

**CORTANTE EN 1 DIRECCIÓN**

$$\text{ancho} = \frac{b \cdot b_{col}}{2} = d = 2.813 \text{ in}$$

$$A_1 = \text{ancho} \cdot b = 102.674 \text{ in}^2$$

$$V_{u1} = A_1 \cdot q_e = 3.28 \text{ kip}$$

Figura 106. Diseño de zapata, parte 2

**PERALTE EFECTIVO REQUERIDO EN LA DIRECCIÓN**

$$d \geq \frac{V_{uT}}{\phi \lambda \sqrt{f_c}} \quad 0.258 \text{ in} < d \quad 11.5 \text{ in} \quad \text{SI CUMPLE}$$

**ACERO MÍNIMO EN LA ZAPATA**

$$A_{s1} = \frac{200}{f_y} b d = 1.399 \text{ in}^2 \quad \text{PRIMER CHEQUEO DE ACERO MÍNIMO}$$

$$A_{s2} = \frac{3}{f_y} \sqrt{f_c} b d = 1.15 \text{ in}^2 \quad \text{SEGUNDO CHEQUEO DE ACERO MÍNIMO}$$

$$A_{s_{min}} = \max(A_{s1}, A_{s2}) = 1.399 \text{ in}^2$$

ÁREA DE ACERO REQUERIDA EN LA ZAPATA = 5 VARILLAS NO.5  $A_s = 1.53 \text{ in}^2$

**FLEXIÓN EN LA ZAPATA (ASUMIENDO VIGA EN VOLADIZO)**

$$L = \frac{b}{2} + \frac{b_{col}}{2} = 14.313 \text{ in} \quad \text{LONGITUD DEL VOLADIZO}$$

$$M_u = q_u \cdot 1 \text{ ft} \cdot L = 19682.597 \text{ lbf in} \quad \text{MOMENTO ÚLTIMO GENERADO EN LA ZAPATA A LA DISTANCIA DEL ROSTRO DE LA COLUMNA}$$

ASUMIENDO  $\phi = 0.9$

$M_u = 19682.597$      $f_y = 60000$      $f_c = 3000$      $b = 36.5$      $d = 11.5$

$$M_u = \phi A_s f_y d \left( 1 - \frac{A_s f_y}{2 \cdot 0.85 f_c b} \right) \quad \text{solve } A_s \quad \begin{matrix} 0.031723209422231837894 \\ 35.647026790577768162 \end{matrix}$$

ÁREA DE ACERO REQUERIDA POR FLEXIÓN EN LA ZAPATA = VARILLAS NO.4 @ 9 PULGADAS  $A_{sflex} = 0.26 \text{ in}^2$

**LONGITUD DE DESARROLLO HORIZONTAL**

$\psi_r = 1$      $\psi_e = 1$      $\psi_s = 1$      $f_y = 60000 \text{ psi}$      $f_c = 3000 \text{ psi}$   
 $C \mid K_{tr} = 2.5$     CONSERVADORAMENTE     $b = 36.5 \text{ in}$   
 $d_b$

$$l_{d1} = \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f_c}} \frac{\psi_r \psi_e \psi_s}{2.5} = 5.585 \text{ in}$$

Figura 107. Diseño de zapata, parte 3

$$l_{d2} = \frac{b}{2} + \frac{b_{col}}{2} \text{ rec } 11.313 \text{ in}$$

LONGITUD DE DESARROLLO HORIZONTAL REAL  
EN LA ZAPATA

COMO LA LONGITUD DE DESARROLLO REAL ES MAYOR A LA REQUERIDA, EL CÁLCULO SÍ CUMPLE  
ESTE CHEQUEO

### **CONCLUSIÓN**

LA ZAPATA QUE CUMPLE CON TODOS LOS CHEQUEOS ANTERIORES ES DE 36.5" x 36.5" x 15" C  
ON REFUERZO DE VARILLAS #5 @ 3 PULGADAS EN AMBOS SENTIDOS

*Figura 108.* Diseño de zapata, parte 4

## XXII. Análisis y discusión de resultados

El diseño de la mezcla fue satisfactorio ya que se siguieron todos los lineamientos del ACI 211. Después de realizar los ensayos al concreto fresco, los resultados para el ensayo de asentamiento indican la trabajabilidad de la mezcla y conforme aumenta el porcentaje de PET se observa cómo este va disminuyendo. Estos datos, al no llegar al asentamiento deseado, nos indican que existe una complicación al momento de colocarlo, como resultado pueden formarse 'ratoneras' en los elementos. Las mezclas desde 0 % hasta 40 % lograron llegar a asentamientos considerables después de agregarles el aditivo Polyheed y entre 100ml y 1L de agua extra. El aditivo, como se mencionó anteriormente, ayuda a producir un concreto más uniforme ya que ayuda a que haya una mejor trabajabilidad sin la necesidad de agregar demasiada agua y así obtener la consistencia y resistencia requerida.

Las demás pruebas al concreto fresco, a excepción de la masa y peso, se mantienen bastante constantes entre las diferentes mezclas, con un promedio de temperatura de 21.8°C y porcentaje de aire de 1.58. La masa y peso del concreto va disminuyendo conforme aumenta el porcentaje de PET ya que su peso es considerablemente bajo a comparación con su volumen. Por lo que comparando la masa y peso de la mezcla piloto, sin ningún porcentaje de PET, con 10 % disminuye 1.93 %, con 20 % de PET 4.04 %, 30 % de PET 4.86 %, 40 % de PET 5.91 % y finalmente con 50 % de PET disminuye 6.15 %.

Comparando los resultados a compresión de las mezclas a 7 días, se puede observar que la mezcla piloto llega rápidamente y sobrepasa la resistencia requerida, mientras que las demás mezclas mantienen un promedio de 32 % abajo de la resistencia de la prueba piloto a esta edad. Al llegar a los 14 días, la prueba con 10 % de PET está solamente 18 % debajo de la resistencia de los cilindros piloto, a diferencia de las demás mezclas, las cuales se mantienen con un promedio de 32 % por debajo de la resistencia de la prueba piloto en esta edad. La resistencia a compresión a los 28 días, demuestra cómo la mezcla con 10 % de PET se mantiene con una resistencia de 18.41 % debajo de la piloto mientras que las demás mezclas están en 31.93 %, 35.95 %, 36.25 % y 36.82 % por debajo.

Los tipos de fallas en los cilindros son en su mayoría tipo 2 - cónica y vertical, las cuales nos indican que son conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, cono no bien definido en el otro extremo y presenta pérdida de material en el centro del cilindro. En pocos cilindros se mostró falla tipo 3 - columnar, la cual son fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos no bien formados y fisuras grandes y muy visibles.

Al utilizar la norma FHA para viviendas de 50 m<sup>2</sup> y hasta 100 m<sup>2</sup> de área construida para el diseño de distribución de áreas de la casa propuesta para familias de bajos recursos, se pudo realizar los cálculos estructurales con los datos obtenidos de los ensayos realizados. Obteniendo que, para soportar las cargas propuestas de 85 kgf/m<sup>2</sup> de pesos muertos y 100kgf/m<sup>2</sup> de pesos vivos, el espesor de la losa para techo debe ser de 12 centímetros con varillas No.3 con una separación de 9 pulgadas para soportar los momentos positivos y negativos y varillas No.3 con una separación de 12 pulgadas para el acero por fraguado y temperatura. La viga secundaria debe ser de 25cm por 25cm con 2 varillas No. 4 en la parte inferior a lo largo de toda la viga para soportar los momentos negativos y 2 varillas No. 4 en la parte superior para soportar los momentos positivos, con estribos No.3 para suministrar el acero en el alma para el cortante. Se hizo el diseño para vigas en los ejes horizontales y verticales, debido a que las vigas secundarias van apoyadas en las verticales y así mismo, las horizontales no resultaran sobredimensionadas. Por lo que las vigas principales en los

ejes verticales tienen las dimensiones de 30cm por 15cm, con 2 varillas en la parte inferior a lo largo de toda la viga para resistir los momentos negativos y 2 varillas No. 5 en la parte superior a lo largo de toda la viga para soportar los momentos positivos, por último, estribos No.3 para suministrar el acero en el alma para el cortante. La viga principal en los ejes horizontales, debido a que tienen una longitud mayor, se diseñó con las dimensiones de 40cm por 20cm con 2 varillas en la parte inferior a lo largo de toda la viga para resistir los momentos negativos y 3 varillas No. 5 en la parte superior a lo largo de toda la viga para soportar los momentos positivos, por último, estribos No.3 para suministrar el acero en el alma para el cortante. Para el diseño de la columna cuadrada, se utilizó el programa Etabs para obtener los momentos y cortes máximos y así mismo se obtuvo que para soportar las cargas, se necesitan de 4 varillas No. 4 longitudinalmente, con estribos No.3 con una separación de 8 pulgadas. Para la losa de contra piso se supone que el terreno de la vivienda es plano y no está cerca de una ladera, por lo que el refuerzo que se propone es de electro malla para evitar agrietamientos. La zapata que se diseñó, tiene dimensiones de 36.5 pulgadas por 36.5 pulgadas con un espesor de 15 pulgadas, con refuerzo de varillas No.5 separadas a cada 3 pulgadas, en ambos sentidos.

## XXIII. CONCLUSIONES

Se utilizó PET triturado en la mezcla de concreto como sustituto parcial en vez de fibras poliméricas, debido a la disponibilidad del material en esa presentación. En esta investigación, el PET triturado, para la construcción de viviendas unifamiliares para personas con bajos recursos puede ser implementada al sustituirse con el 10 por ciento del pedrín de 3/8. Por medio de los ensayos, se obtuvo que esta mezcla sobrepasa la resistencia a compresión a los 28 días de 3,000 psi. Las propiedades deben cumplir con las descritas en los materiales utilizados y es importante que el tamaño del PET sea similar a uno de los agregado ya que así no afecta en la curva granulométrica de la mezcla de concreto.

Al realizar pruebas al concreto fresco se puede observar cómo la relación agua/cemento influye mucho en la consistencia de la mezcla. Mientras mayor cantidad de agua, mejor trabajabilidad, mayor plasticidad y mayor fluidez. Por lo que se puede concluir que al incorporar el PET en la mezcla, afecta sus propiedades mecánicas, disminuye su trabajabilidad, de manera que es necesario añadirle mayor cantidad de agua, así mismo disminuye la resistencia del concreto.

Los resultados obtenidos en los ensayos a compresión y las pruebas en concreto fresco de las mezclas con diferentes porcentajes de plástico, ayudan a concluir que no existe una adherencia entre el PET y la mezcla de concreto, ocasionando que el asentamiento sea cada vez menor mientras aumenta el porcentaje del mismo. La temperatura y el porcentaje de aire de la mezcla se mantiene constante, mientras que la masa uniforme disminuye conforme se aumenta el PET, al igual que la resistencia a compresión. Los resultados de los ensayos a tensión demuestran lo contrario, se puede observar cómo, a comparación con la viga control, al tener 10 y 20 por ciento de PET, aumenta su módulo de rotura, mientras que con el 40 y 50 por ciento, disminuye.

El objetivo fue llegar a un  $f'c$  igual a 3,000 psi pero se comparó con un concreto base de 4,000 psi ya que al hacer el diseño de la mezcla, se diseñó para la resistencia promedio a la compresión del concreto requerida para dosificar las mezclas,  $f'cr$ , ya que según el ACI, cuando no se tienen datos estadísticos este valor debe ser de 4,000 psi. Por lo que se puede concluir que el porcentaje adecuado para utilizar en la construcción de una vivienda de un nivel y llegar a una resistencia a la compresión de 3,000 psi, es la mezcla con 10 por ciento de PET, ya que cumple con las pruebas de concreto fresco, resistencia a compresión y resistencia a tensión.

Al utilizar la norma FHA para viviendas de 50 m<sup>2</sup> y hasta 100 m<sup>2</sup> de área construida para el diseño de distribución de áreas de la casa propuesta para familias de bajos recursos, se pudo realizar los cálculos estructurales con los datos obtenidos de los ensayos realizados. El diseño estructural fue satisfactorio ya que todos los elementos cumplieron con los requisitos del ACI 318-14, por lo que se puede concluir que el diseño puede ser implementado, siempre y cuando se cumpla con los parámetros del terreno y con las cargas propuestas. Tomando en cuenta las dimensiones de todos los elementos diseñados, hay un volumen de concreto de aproximadamente 35 metros cúbicos, por lo que al implementar la mezcla que contiene 10 % de PET, se estarían utilizando 934.5 kg de PET.

Esta investigación, al cumplir con las normas descritas en el marco teórico, es una solución para disminuir tanto el déficit habitacional, como la contaminación de plástico en los mares, ríos, océanos, ayudando a conservar la salud de las especies que habitan en ellos y disminuir el impacto de la producción masiva del plástico.

## XXIV. RECOMENDACIONES

- El PET debe estar limpio al incorporarlo en la mezcla de concreto, para que no afecte en un grado mayor las propiedades y así mismo cumpla con los requisitos de calidad.
- Realizar los ensayos con fibras poliméricas para determinar cómo la forma, apariencia física, del PET afecta las propiedades del concreto.
- Realizar las mezclas de concreto sustituyendo otro tamaño de agregado, ó sustituirlo en cantidades proporcionales con todos los agregados de la mezcla.
- Determinar en qué procesos debe ser sometido el PET para tener una mejor adherencia al concreto y así aumentar su resistencia a compresión.
- Realizar otros ensayos al concreto sometido a diferentes esfuerzos, temperaturas, entre otros, para así determinar cómo afecta otras propiedades mecánicas.
- Realizar un estudio de suelos para implementar el diseño estructural, y así mismo cambiar los datos para adecuarlo al terreno en el cual se realizará.
- Revisar las diferentes normas para incluir los factores que se necesiten para que la estructura pueda ser sismorresistente.
- Determinar las cargas en las que va a estar sometida la estructura, tanto vivas como muertas, para agregarlas o modificarlas en el diseño estructural.
- Utilizar ladrillos ecológicos para las divisiones de los espacios propuestos en la vivienda diseñada para aumentar el porcentaje de plástico que estaría incluido en la construcción de la misma.
- Proponer un diseño de vivienda en serie, en el que en vez de ser marcos a momento, sea con muros fundidos para agilizar el proceso de construcción.
- Realizar la investigación proponiendo diferentes porcentajes de PET para alcanzar distintas resistencias a la compresión.
- Proponer un diseño de mezcla en el que el PET no sea sustituto de uno de los agregados, sino solamente un extra para que la curva granulométrica base no se vea afectada.
- Plantear un diseño de viviendas verticales, es decir, edificios con apartamentos enfocados a personas con bajos recursos

## XXV. BIBLIOGRAFÍA

- ACI. (2010). *How low is too low for a 7-Day Cylinder Break?*
- AGIES. (2018a). *Diseño de mampostería reforzada.*
- AGIES. (2018b). *Documento de apoyo para autoridades guía NSE2018.*
- AGIES. (2018c). *NSE 7.4, Diseño de mampostería reforzada.*
- AGIES, TROCAIRE, COOPI & ICCG. (2015). *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores.*
- Bank, W. (2017). *Definición de un modelo de promoción de Vivienda social en Guatemala.* <https://documents1.worldbank.org/curated/en/936811575442703478/pdf/Hacia-la-Definici%C3%B3n-de-Un-Modelo-de-Promoci%C3%B3n-de-la-Producci%C3%B3n-de-Vivienda-Social-en-Guatemala-en-el-Marco-de-la-Urbanizaci%C3%B3n-del-Pa%C3%ADs.pdf>
- Blanco, V. B. (s.f.). *Los ríos más contaminados del mundo.* <https://www.tysmagazine.com/los-rios-mas-contaminados-del-mundo/>
- CIV, de Guatemala, G. & CONAVI. (2020). *Política Nacional de Vivienda y Asentamientos Humanos 2020-2032.* [http://www.fopavi.gob.gt/Documentos\\_en\\_Index/junio2020\\_Politica\\_Vivienda\\_vf.pdf](http://www.fopavi.gob.gt/Documentos_en_Index/junio2020_Politica_Vivienda_vf.pdf)
- COGUANOR. (s.f.-a). *Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño.* [https://conred.gob.gt/normas/NRD3/1\\_cemento/NTG\\_41095\\_ASTM\\_C1157\\_Cementos\\_hidraulicos\\_Especificaciones\\_por\\_desempe%C3%B1o.pdf](https://conred.gob.gt/normas/NRD3/1_cemento/NTG_41095_ASTM_C1157_Cementos_hidraulicos_Especificaciones_por_desempe%C3%B1o.pdf)
- COGUANOR. (s.f.-b). *Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión.* [https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2\\_concreto/norma\\_ntg\\_41017\\_h7\\_astm\\_c231web.pdf](https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/norma_ntg_41017_h7_astm_c231web.pdf)
- COGUANOR. (s.f.-c). *Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico recién mezclado.* [https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2\\_concreto/norma\\_coguanor\\_ntg\\_41053\\_astm\\_c\\_1064.pdf](https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/norma_coguanor_ntg_41053_astm_c_1064.pdf)
- COGUANOR. (s.f.-d). *Moldes para el colado vertical de cilindros de concreto para ensayo. Especificaciones.* [https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2\\_concreto/norma\\_ntg\\_41062\\_astm\\_c470-c470m-09.pdf](https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/norma_ntg_41062_astm_c470-c470m-09.pdf)
- COGUANOR. (s.f.-e). *Práctica para el uso de tapas no adheridas en la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido.*
- COGUANOR. (s.f.-f). *Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.*
- COGUANOR. (s.f.-g). *Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.* [https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2\\_concreto/norma\\_coguanor\\_ntg\\_41061\\_astm\\_c\\_31.pdf](https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/norma_coguanor_ntg_41061_astm_c_31.pdf)
- COGUANOR. (s.f.-h). *Terminología referente al concreto y agregados para concreto.*
- COGUANOR. (2015). *Práctica estándar para agencias de ensayo de concreto y agregados para concreto para su uso en la construcción y criterios de evaluación para agencias de ensayo.*
- COGUANOR. (2017). *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.*
- CONRED. (s.f.). *Manual de refuerzo de viviendas de adobe.* <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0064/doc0064.pdf>

- Córdoba, L. I., Barrera, C. E., Ureña, F. & Loza, A. (2015). *PET de desecho y su uso en concreto*. <https://pdfs.semanticscholar.org/ed2a/180d5b31752352856b08bba2385aca3df506.pdf>
- El Periódico. (2018). *La guerra del periódico*. <https://elperiodico.com.gt/domingo/2018/07/22/la-guerra-del-plastico/>
- FHA. (s.f.). *Normas de planificación y construcción del FHA*.
- González, A. (2014). Evolución de la vivienda en Guatemala. <https://www.prensalibre.com/revista-d/vivienda-en-guatemala-normativa-sismo-resistente-materiales-construccion-0-1181281992/>
- I. Almeshal, R. A., B. Tayeh. (2020). *Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand*.
- Imcyc. (2006). *Pruebas de resistencia a la compresión del concreto*.
- INTERNATIONAL, A. (s.f.-a). *ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C39C39M-01.htm>
- INTERNATIONAL, A. (s.f.-b). *Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire del Concreto Recién Mezclado Mediante el método por Presión*. <https://www.astm.org/Standards/C231C231M-SP.htm>
- INTERNATIONAL, A. (s.f.-c). *Método de Ensayo Normalizado de Temperatura de Concreto de Cemento Hidráulico recién Mezclado*. <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C1064C1064M-11-SP.htm>
- INTERNATIONAL, A. (s.f.-d). *Método de prueba estándar para el asentamiento del hormigón decemento hidráulico*. <https://www.astm.org/Standards/C143C143M-SP.htm>
- Jaivignesh, B. & Sofi, A. (2017). *Study of Mechanical Properties of Concrete Using Plastic Wastes as an Aggregate*.
- Lugo, J. E. & Torres, Y. S. (2019). *Caracterización del comportamiento mecánico del concreto simple con adición de fibras poliméricas recicladas PET*. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23953/1/TESIS20FIBRAS20PET20EN20EL20CONCRETO.pdf>
- Madrigal, J. F. (2011). *Manual de plásticos para diseñadores*. <http://evirtual.uaslp.mx/Habitat/innobitat01/CAHS/Art3ADculos/MANUALES/Manual20de20PIC3A1sticos20para20diseC3B1adores20Shastri20Corr204.pdf>
- MBCC. (s.f.). *Aditivos reductores de agua de rango medio, exentos de cloruros*. <https://www.master-builders-solutions.com/es-centroamerica/products/masterpolyheed>
- Mejia, S., Linares, I. & Aguilar, J. (2006). *Diagnóstico de la problemática de vivienda en la región de Guatemala*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_1633.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_1633.pdf)
- Monzón, H. (2014). *Manual de diseño sismo-resistente simplificado, mampostería de block de concreto para Guatemala. Documento AGIES DSE 4.1 (2014)*.
- NMRCA. (s.f.). *El concreto en la práctica. ¿Qué, Por qué y Cómo?*
- R. Siddique, I. K., J. Khatib. (2007). *Use of recycled plastic in concrete*.
- Rodriguez, I. (2020). *La necesidad de revertir la falta de una vivienda digna en Guatemala*. <https://www.republicainmobiliaria.com/editorial/revertir-falta-vivienda-digna-guatemala/>
- Soto, R. (2008). *Evaluación y análisis de mezcla de concreto elaboradas con agregados de origen pétreo y escoria de acería*. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2870\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2870_C.pdf)
- Velasco, M. (2020). *Propuesta enfocada en la reducción del déficit de vivienda en Guatemala*. [https://www.congreso.gob.gt/noticias\\_congreso/4919/2020/3#gsc.tab=0](https://www.congreso.gob.gt/noticias_congreso/4919/2020/3#gsc.tab=0)

## XXVI. APÉNDICES

Al iniciar con las mezclas, se pensaba sustituir la arena con PET y se realizó una mezcla con 10 %, obteniendo una mezcla con muy mala trabajabilidad. Se decidió cambiar y sustituir por el piedrín de 3/8" a que la apariencia del PET es más parecida con ésta y así la granulometría de la mezcla no variaba tanto. A continuación se muestran los resultados de los ensayos de la mezcla con 10 % de PET sustituyendo la arena.

Material	10 %
Cemento	0.113
Agua	0.165
Agregado I de 3/4"	0.225
Agregado II de 3/8"	0.098
Arena	0.295
PET	0.074

Cuadro 39

*Tabla de volumen teórico para mezcla de concreto con 10 % de PET, sustituyendo arena., volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.*

Material	10 %
Cemento (kg)	18.98
Agua (kg)	7.20
Agregado I de 3/4"(kg)	33.62
Agregado II de 3/8"(kg)	14.64
Arena (kg)	51.37
PET (kg)	5.53
Polyheed (ml)	76

Cuadro 40

*Tabla de diseño práctico para un volumen de 0.055 m<sup>3</sup> para mezcla de concreto con 10 % de PET, sustituyendo arena, volumen necesario para obtener 6 cilindros de 6"x 12 y 1 viga.*

Prueba	10 %
Asentamiento sin aditivo (pulg)	0
Asentamiento con aditivo (pulg)	2.5
Temperatura (°C)	22
Asentamiento antes de iniciar pruebas (pulg)	3.75
Masa uniforme(kg)	20.09
Peso concreto (kg/m <sup>3</sup> )	2,294
Aire ( %)	2.1

Cuadro 41

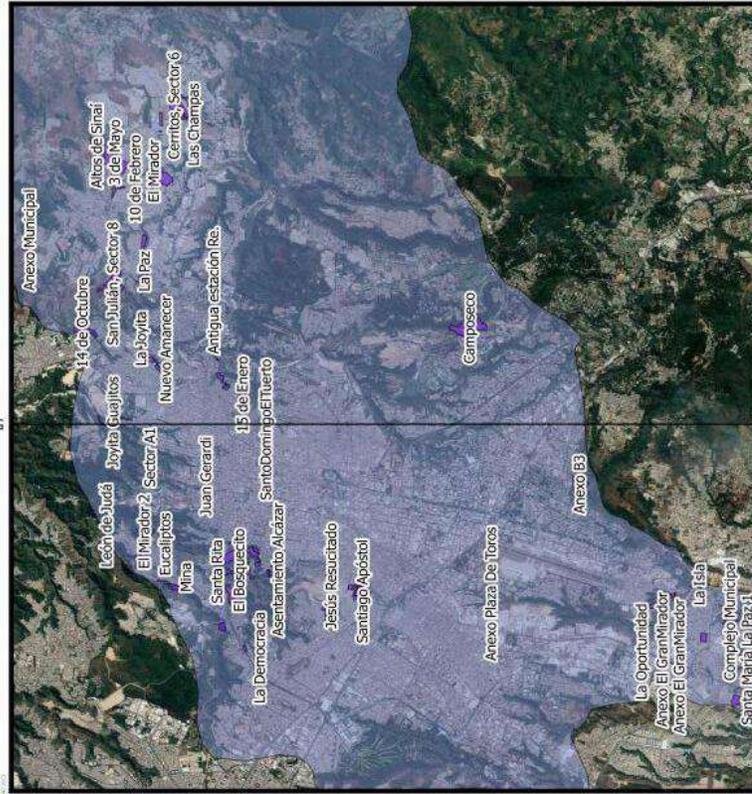
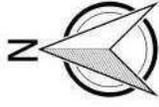
*Resultados del concreto fresco para mezcla con 10 % de PET, sustituyendo arena.*

Cilindro No.	días	Masa (kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	% f'c
1	7	12.98	354	19.4	2,810	94
2	7	13	348	19.1	2,770	92
3	14	13.02	376	20.6	2,990	100
4	14	13	383	21	3,040	101
5	28	13	404	22.1	3,210	107
6	28	13	403	22.1	3,200	107

Cuadro 42

*Resultados de pruebas a compresión para concreto con 10 % de PET, sustituyendo arena.. Elaboración propia.*

**MAPA ASENTAMIENTOS 1950 - 2015**  
**MARIA JOSÉ CASTAÑEDA**  
 17253



**LEYENDA**

- Asentamientos 1950
- Asentamientos 1950s - 1979
- Asentamientos 1950s - 1989
- Asentamientos 1950s - 1999
- Asentamientos 1950 - 2000
- Asentamientos 1950 - 2010
- Asentamientos 1950 - 2015
- CIUDAD DE GUATEMALA

Google Satellite

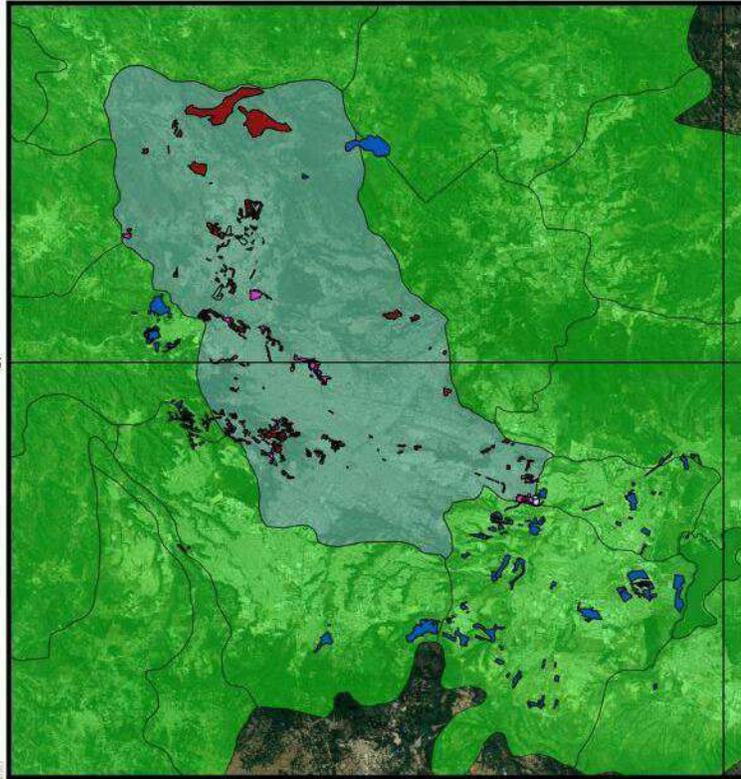
ID	ÁREA	PERÍMETRO	ZONA	AÑO	NOMBRE
1	28211	832	21	1997	Nuevo Amanecer
2	12267	845	21	2002	Anexo Las Victorias
3	19692	602	21	1990	Santa María La Paz 1
4	27494	811	21	2012	Luz del Sol 2
5	14478	632	21	1985	Laderas de Vásquez
6	23452	1076	21	1999	Complejo Municipal
7	20647	573	21	1976	Joyita Guajitos
8	1037	148	8	2000	Anexo El Gran Mirador
9	1725	242	8	2000	Anexo El Gran Mirador
10	2577	355	8	2000	Anexo El Gran Mirador

1000 0 1000 2000 3000 4000 units





MAPA ASENTAMIENTOS, COLONIAS, COMUNIDADES EN  
 EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA SEGUN "TECHO"  
 MARIA JOSÉ CASTAÑEDA  
 17253



LEYENDA

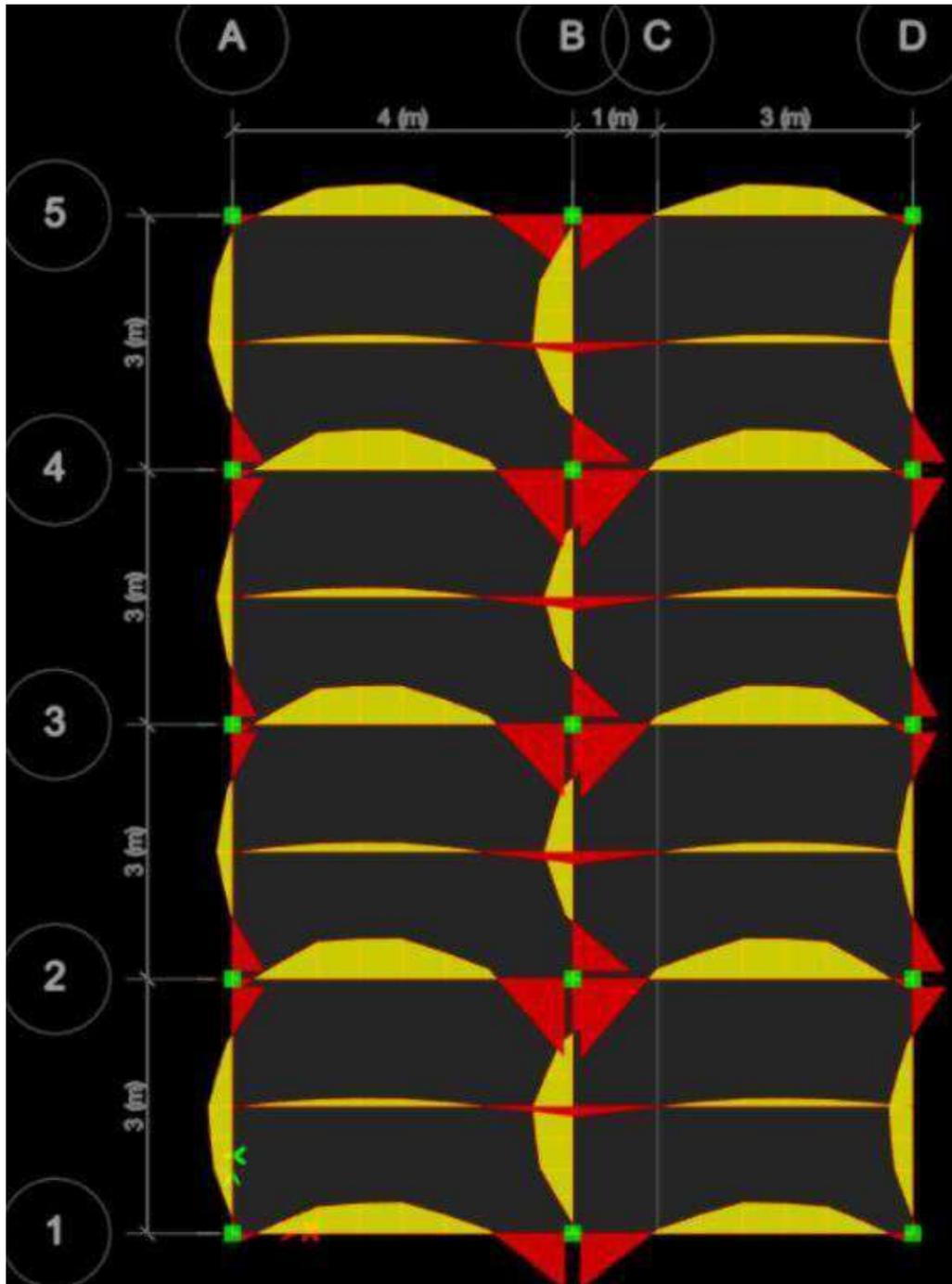
- Asentamientos\_Techo2016\_gtm
  - Asentamientos\_precarios\_TECO\_gtm
  - asentamientos\_bd02
  - asentamientos\_bd01
  - V3.4.5 CENSO DE ASENTAMIENTOS. TECO GUATEMALA
  - CIUDAD DE GUATEMALA
  - DEPARTAMENTO GUATEMALA
- Google Satellite

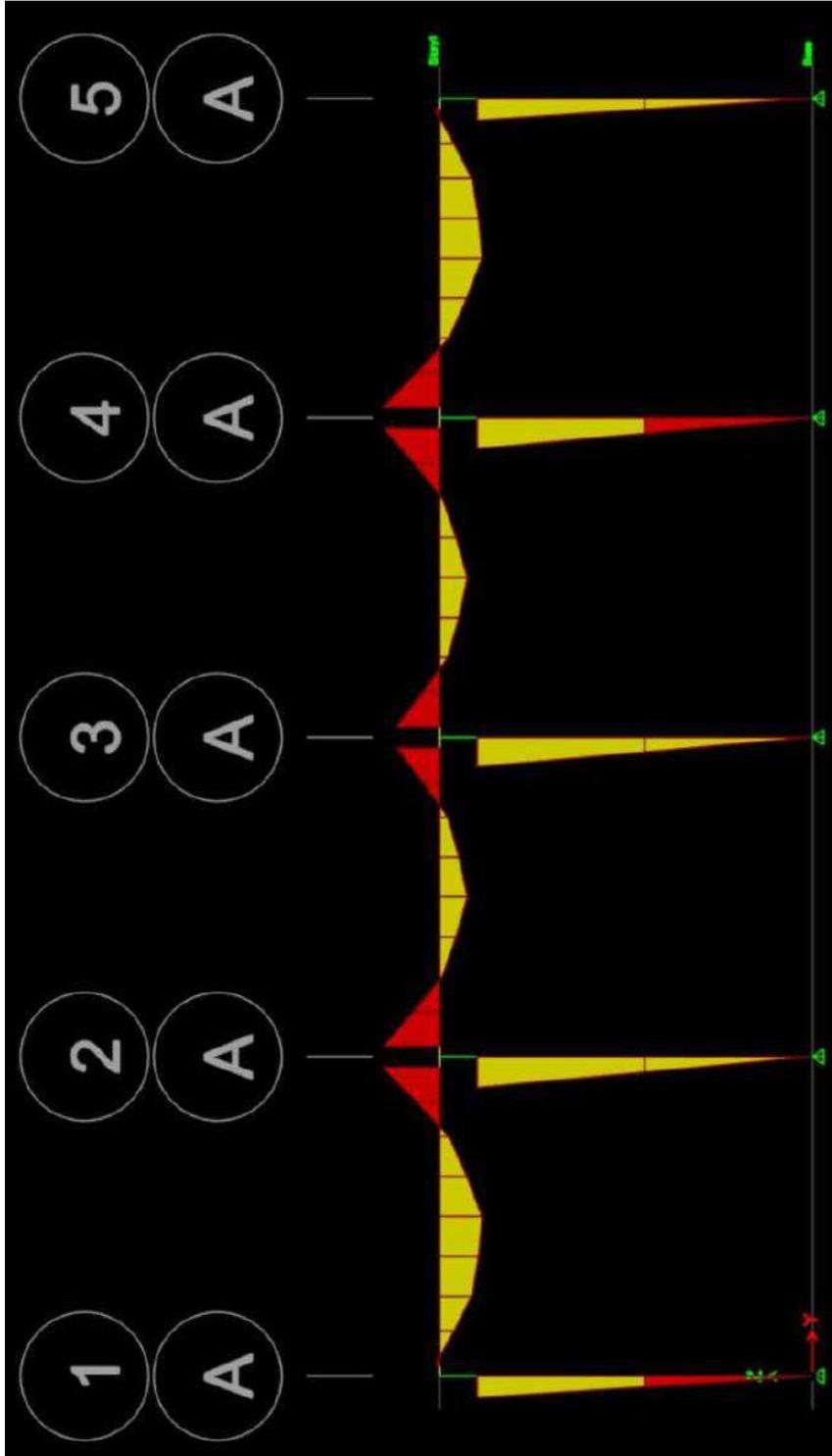
NOMBRE	ZONA	REF	CLASIFICA	A_O_CONF
Anexo El Gran Mirador	8		Asentamiento	2000
Colonia Aguilar 3	3	Daniel Melliado	Colonia	Antes de 1950
Colonia Peñasa de Oro	3	Rosalia Rivera	Colonia	2004
La Franja	4	Sabrina	Otro	1998
Santiago Apóstol	6	Sebastian Tzori	Asentamiento	1990
Jesús Resucitado	7	Roberto Cabrera	Asentamiento	1996
Primavera Anexo Al Amparo 2	7	Roberto Cabrera	Asentamiento	1994
Nuevo Amanecer	7	Roberto Cabrera	Asentamiento	2002
Emanuel, Área del Mercado	7	Roberto Cabrera	Asentamiento	2000
Gallilea	7	Roberto Cabrera	Comunidad	1980

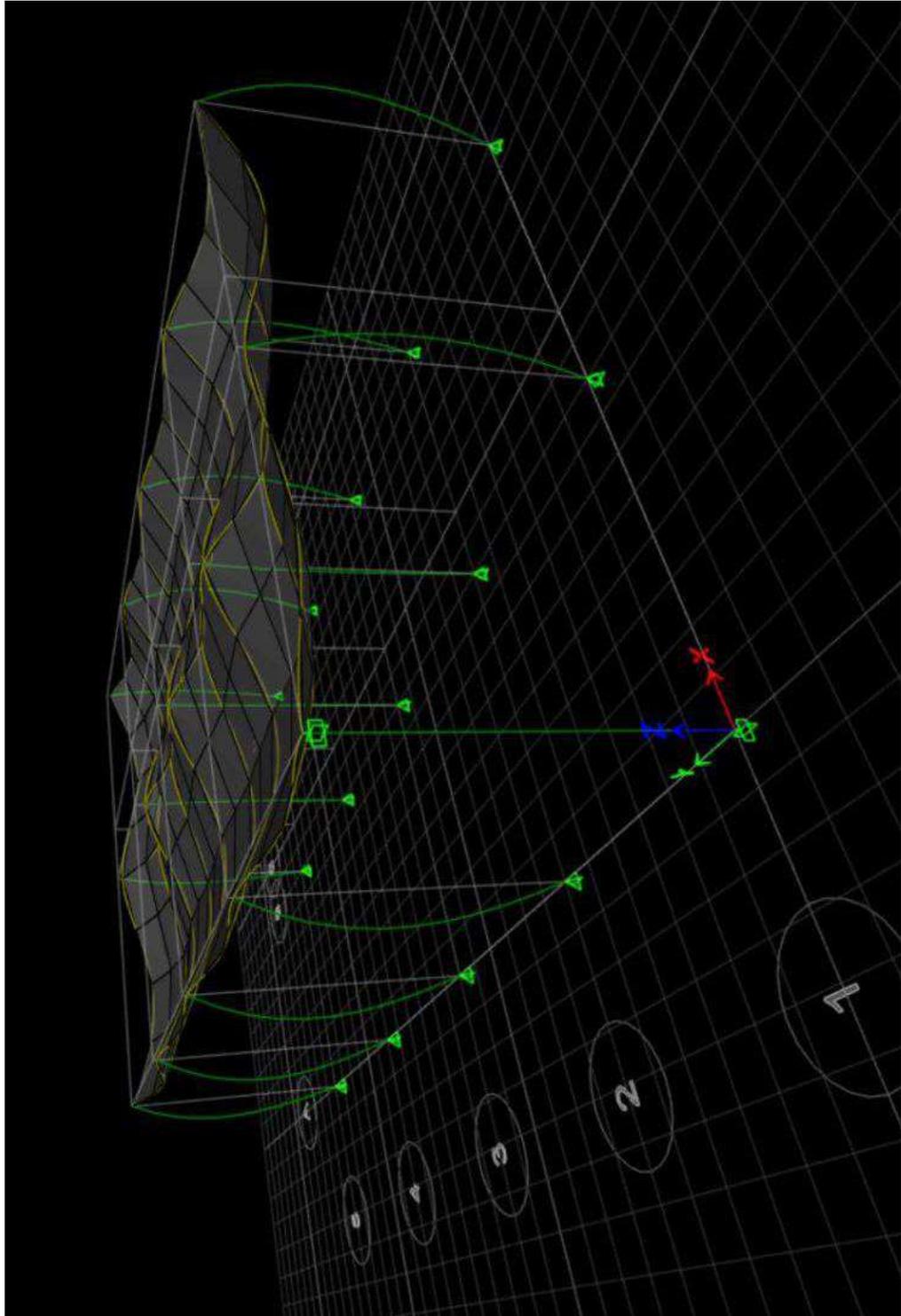
1600000

2500 0 2500 5000 7500 10000 units

1600000







## XXVII. Glosario

- Adobe** Material compuesto por tierra, arcilla compactada, mezclada con fibra vegetal, moldeada en forma de bloques y puesto al sol para llevar un secado. 10
- Asentamientos Precarios** Sitio donde una población se establece con viviendas no aptas, en condiciones de pobreza o pobreza extrema. 9
- Bajareque** Sistema de construcción con caña o palos y los recubre una capa de barro. 10
- Concreto reforzado** Una combinación de concreto y acero en la cual el refuerzo de acero proporciona la resistencia a tensión y compresión. 12
- Covid-19** Enfermedad causada por el coronavirus, muy infecciosa y puede llegar a ser letal, causando daños respiratorios. 8
- Déficit habitacional cualitativo** Medida que toma en cuenta la calidad de la vivienda, considerando los materiales de construcción, el espacio habitado y los servicios básicos. 9
- Déficit habitacional cualitativo** Diferencia entre la cantidad de hogares y las unidades habitacionales disponibles. 9
- Déficit habitacional** Escasez de viviendas en una comunidad, toma en cuenta las condiciones del entorno que lo determinan. vi, 8
- Desarrollo sostenible** El desarrollo capaz de utilizar los recursos de manera eficaz, satisfaciendo las necesidades actuales, sin comprometer la escasez para futuras generaciones. 7
- Hipotecas** Derecho que contiene un inmueble capaz de garantizar el pago de una deuda. vii, 13
- Impuesto** Cantidad de dinero que se paga al Estado para contribuir con las necesidades colectivas. . 6
- PET** Tereftalato de polietileno, es un polímero plástico muy utilizado en envases de bebidas carbonatadas. 16
- Sismorresistentes** Una construcción diseñada estructuralmente capaz de resistir movimientos sísmicos. 10
- Viviendas unifamiliares** Inmueble en el que habita una familia con acceso a los servicios básicos. 13