



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES MATERIALES
USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES PEATONALES
EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, PROVINCIA DEL GUAYAS,
ECUADOR.”**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

**MÁSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO**

Presentado por:

MARÍA ALEJANDRA BORBOR BAJAÑA

HENRY PAUL PONCE PINEDA

GUAYAQUIL - ECUADOR

2022

DEDICATORIA

Dedico este proyecto en primer lugar a Dios, sin él nada es posible. A cada uno de los miembros de mi hermosa familia y a mi enamorado Paul, porque sin el apoyo de cada uno de ellos y su constante motivación no hubiese culminado con éxito este proceso de masterado. También a mi amigo Henry, compañero de tesis, por hacer este proceso más fácil y llevadero.

María Alejandra Borbor Bajaña

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi familia, por el apoyo durante el transcurso de esta maestría. A mi amiga de tantos años Alejandra Borbor, por la constante ayuda durante el proceso de realización del documento. Y a Dios por darme la inteligencia para poder seguir creciendo cada día más como profesional.

Henry Paul Ponce Pineda

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a todos los profesores que nos han formado como seres humanos y profesionales responsables y en especial a la Ing. Natividad García por ser nuestro guía en este proceso de titulación.

María Alejandra Borbor Bajaña
Henry Paul Ponce Pineda

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *MARIA ALEJANDRA BORBOR BAJAÑA* y *HENRY PAUL PONCE PINEDA* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

María Alejandra
Borbor Bajaña

Henry Paul Ponce
Pineda

EVALUADORES

.....
Msc. Nadia Rosaura Quijano Arteaga

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
PhD. Natividad García.

PROFESOR TUTOR

Nombre del Profesor

PROFESOR CO-TUTOR

Nombre del Profesor

REVISOR EXTERNO

RESUMEN

El incremento poblacional debe de ir de la mano de un desarrollo sostenible y económico, lo cual no ocurre en la ciudad de Guayaquil, a medida que se continúen construyendo pasos peatonales, se debe profundizar en el estudio de nuevos materiales que, dentro de su ciclo de vida y costo, tengan una menor afectación al medio ambiente y resulten más económicos. Mediante esta tesis realizamos el análisis comparativo entre tres materiales: acero estructural, hormigón y geopolímero reforzado con fibra (GFRP), se evaluó su afectación al medio ambiente (en % de ton de CO_2 y consumo de energía), desempeño estructural (empleando SAP se midieron deformaciones y la relación demanda/capacidad) y finalmente un análisis de costo, empleando REVIT para el cálculo de cantidades y basado en precios del mercado actual para evaluar la construcción de la pasarela principal. Como resultado obtuvimos que el GFRP es el material más recomendando a nivel de ciclo de vida (bajos porcentajes), en la parte estructural se obtuvieron resultados favorables una vez incrementada su resistencia y, aun así, en su análisis de costo con este incremento, resulto siendo el más económico de los tres. El GFRP es un material aun poco empleado en la construcción a nivel mundial y casi desconocido a nivel nacional, pero en base a nuestro estudio, consideramos es un material que nos permitirá en un futuro no lejano optimizar de manera más sustentable los recursos naturales del planeta y prolongar su duración.

Palabras claves: *Ciclo de vida, costo, desempeño estructural, geopolímero reforzado con fibra, puente peatonal.*

ABSTRACT

Population growth must go hand in hand with sustainable and economic development, which is not the case in the city of Guayaquil. As pedestrian bridges continue to be built, the study of new materials that, within their life cycle and cost, have a lower impact on the environment and are more economical, should be studied in depth. Through this thesis we performed a comparative analysis between three materials: structural steel, concrete and fiber reinforced geopolymer (GFRP), evaluated their environmental impact (in % of CO2 ton and energy consumption), structural performance (using SAP we measured deformations and the demand/capacity ratio) and finally a cost analysis, using REVIT for the calculation of quantities and based on current market prices to evaluate the construction of the main walkway. As a result, we obtained that GFRP is the most recommended material in terms of life cycle (low percentages), in the structural part, favorable results were obtained once its resistance was increased and, even so, in its cost analysis with this increase, it turned out to be the most economical of the three. GFRP is a material still little used in construction worldwide and almost unknown at the national level, but based on our study, we consider it is a material that will allow us in the near future to optimize in a more sustainable way the natural resources of the planet and prolong its duration.

Keywords: Life cycle, cost, structural performance, fiber-reinforced geopolymer, pedestrian bridge.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
EVALUADORES	VI
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Localización	3
1.3 Problema a resolver	5
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo general	10
1.4.2 Objetivos específicos	10
1.5 Justificación	10

CAPÍTULO 2.....	11
REVISIÓN DE LA LITERATURA	11
2.1 Puentes peatonales	12
2.1.1 Tipo de estructura.....	14
2.1.2 Efecto dinámico del peatón en las pasarelas de puentes peatonales.	15
2.1.3. Componentes de un puente viga losa.....	19
2.2 Ciclo de vida de los materiales	19
2.2.1 Ciclo de vida del hormigón.....	20
2.2.2 Ciclo de vida de la estructura metálica	22
2.2.3 Ciclo de vida de los geopolímeros reforzados con fibra (GFRP)	22
CAPÍTULO 3.....	25
CONSIDERACIONES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	25
3.1 Cargas y factores de cargas	26
Cargas Permanentes.....	26
Cargas Permanentes.....	26
Cargas Excepcionales	26
3.1.1 Cargas Permanentes Peso Propio y Cargas Muertas	27
3.1.2 Cargas Variables	27
3.1.3 Cargas accidentales	28
3.2 CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES.....	30
3.2.1 Acero Estructural	30
3.2.1.1 Ventajas del Acero como material Estructural	32
3.2.1.2 Desventajas de usar el acero como material Estructural ...	33
3.2.2 Hormigón armado y Hormigón pretensado	34
3.2.2.1 Hormigón armado.....	34
3.2.2.2 Hormigón pretensado	35

3.2.3 Geopolímero reforzado con fibras GFRP 40 y GFRP 50.....	36
CAPÍTULO 4.....	37
METODOLOGIA.....	37
4.1 Introducción	38
4.2 Paso peatonal tipo viga losa de estructura metálica	38
4.2.1 Arreglo Estructural	38
4.2.2 Descripción de los materiales	40
4.2.3 Determinación de Cargas	40
4.2.3.1 Cargas Vivas	40
4.2.3.2 Cargas Muertas	41
4.2.3.3 Peso Propio de los Elementos.	41
4.2.3.4 Cargas Sísmicas.....	41
4.3 Paso peatonal tipo viga losa de hormigón pretensado OPC.....	41
4.3.1 Tensiones al momento del tensado	42
CAPÍTULO 5.....	45
RESULTADOS	45
5.1 Modelado en SAP, análisis estructural	46
5.1.1 Paso peatonal de estructura metálica.....	46
5.1.1.1 Relaciones demanda capacidad	46
5.1.1.2 Deflexiones	49
5.1.1.3 Diagramas de carga axial	50
5.1.1.4 Diagramas de momento	50
5.1.2 Paso peatonal de hormigón armado OPC 40 y OPC 50.....	51
5.1.2.1 Deflexiones	51
5.1.2.2 Diagramas de carga axial	52
5.1.2.3 Diagramas de momento	53
5.1.2.4 Deflexiones	54

5.1.2.5 Diagramas de carga axial	55
5.1.2.6 Diagramas de momento	56
5.1.3 Paso peatonal de Geopolímero reforzado con fibras metálicas GFRP40 y GFRP50.....	57
5.1.3.1 Deflexiones	57
5.1.3.2 Diagramas de carga axial	58
5.1.3.3 Diagramas de momento	59
5.1.3.4 Deflexiones	60
5.1.3.5 Diagramas de carga axial	61
5.1.3.6 Diagramas de momento	62
5.1.3.7 Relaciones demanda capacidad	63
5.2 Modelado en Revit, análisis de costo.....	65
5.2.1 Paso peatonal de estructura metálica.....	66
5.2.2 Paso peatonal de hormigón armado	70
5.2.3 Paso peatonal de geopolímero reforzado con fibras metálicas GFRP	72
5.3 Comparación de resultados	73
CAPÍTULO 6	75
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	75
6.1 CONCLUSIONES	76
6.2 TRABAJO FUTURO	77
ANEXO A: PLANOS	78
BIBLIOGRAFÍA	82

ABREVIATURAS

NEC	Norma Ecuatoriana de la construcción.
GFRP	Geopolímero reforzado con fibra
SAP2000	Software de análisis estructural
Revit	Software para modelado 3D
ATM	Autoridad de tránsito municipal
IEA	Agencia Internacional de Energía
GEI	Gases efecto Invernadero
UNE	Una norma española
ACV	Análisis ciclo de vida
ASTM	Sociedad americana para pruebas y materiales
ACI	Instituto americano del concreto
LRFD	Diseño por factor de carga y resistencia
AISI	Instituto americano del hierro y el acero
OPC	Cemento ordinario Portland

SIMBOLOGÍA

Av	Avenida
CO ₂	Dióxido de carbono
SO ₂	Dióxido de Azufre
MPA	Mega pascal
Hz	Hertz
m/s ²	Aceleración
personas/m ²	Densidad peatonal
°C	Grados centígrados
Kg/ m ³	Densidad
Kg/m ²	Kg. Fuerza/ metro cuadrado (Presión)
G	Gravedad
Z	Espectro de respuesta elástica
Kg/cm ²	Kg. Fuerza/ centímetro cuadrado (Presión)
Ec	Modulo de elasticidad
GPA	Giga Pascal
f'c	Resistencia a la compresión
Tonf	Tonelada Fuerza

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Ubicación de los puentes peatonales en la ciudad de Guayaquil..	5
Figura 1-2 Puente peatonal Av. Narcisa de Jesús, Valle de Los Geranios.....	7
Figura 1-3 Puente peatonal Av. Camilo Ponce Enrique, Terminal Satélite (Pascuales).....	8
Figura 1-4 Puente peatonal de Rotterdam, Países Bajos.	9
Figura 2-1 Puente fijo canal de Magdeburgo, Alemania/ Puente móvil la torre, Londres (Referencia)	12
Figura 2-2 Tipo de puente según la posición de su calzada.	12
Figura 2-3 Tipo de puente según la longitud de su calzada, a) simple, b) continuo y c) en voladizo.	13
Figura 2-4 Puente viga losa (Billington, 2021).	14
Figura 2-5 Puente en arco (Billington, 2021).	14
Figura 2-6 Puente colgante (Billington, 2021).....	15
Figura 2-7 Puente atirantado (Billington, 2021).....	15
Figura 2-8 Aumento de la densidad peatonal acorde a (du béton & Concrete, 2005).....	17
Figura 3-1 Mapa de zona sísmica Ecuador	29
Figura 5-1 Diagrama Demanda/Capacidad en vista en corte de la pasarela del puente peatonal, Programa Sap200.	47
Figura 5-2 Diagrama Demanda/Capacidad en vista Lateral de la pasarela metálica, Programa Sap200.....	47
Figura 5-3 Diagrama Demanda/Capacidad en vista en 3D de la pasarela metálica, Programa Sap200.....	48
Figura 5-4 Diagrama Demanda/Capacidad en vista 3D de la pila central de la pasarela metálica, Programa Sap200.....	48

Figura 5-5 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela metálica, Programa Sap200.....	49
Figura 5-6 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela metálica, Programa Sap200.....	50
Figura 5-7 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela metálica, Programa Sap200.....	51
Figura 5-8 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap200.	52
Figura 5-9 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap200.	53
Figura 5-10 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap200.	54
Figura 5-11 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de hormigón pretensado OPC50, Programa Sap200.	55
Figura 5-12 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap200.	56
Figura 5-13 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC50, Programa Sap200.	57
Figura 5-14 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP40, Programa Sap200.	58
Figura 5-15 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP40, Programa Sap200.	59
Figura 5-16 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP40, Programa Sap200.	60
Figura 5-17 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.	61
Figura 5-18 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.	62
Figura 5-19 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.	63

Figura 5-20 Sección de la viga doble T de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.....	63
Figura 5-21 Area y volumen del paso peatonal de estructura metálica realizado en Revit	65
Figura 5-22 Paso peatonal de hormigón en Revit.....	66
Figura 5-23 Detalle y dimensiones de los materiales en el puente peatonal, empleados en el programa Revit.	67
Figura 5-24 Ejemplo a nuestro modelo el paso peatonal a la altura del Terminal Terrestre Pascuales previo a su montaje.....	67
Figura 5-25 Peso de la plancha metálica, Reiproacero.	68
Figura 5-26 Peso de la tubería de 100 mm y 120 mm en 3mm, Reiproacero.	68
Figura 5-27 Longitud del paso peatonal igual a 38.50m, autores.	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Puentes peatonales en la ciudad de Guayaquil al 2021, los autores	3
Tabla 5-1 Presupuesto referencial, M.I.Municipalidad de Guayaquil	70
Tabla 5-2 Cotización del costo de viga doble t, mavisa	72
Tabla 5-3 Cuadro comparativo de resultados, autores	74

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Guayaquil ha presentado un aumento acelerado en su población en los últimos años, a inicios del siglo XIX la población bordeaba los 12.000 habitantes, pero en la actualidad, se encuentra rondando los 2'600.000 habitantes y se considera la misma se encuentra en una etapa de continuo crecimiento (Diario El Universo, 2020).

Como tal la ciudad es vista como un lugar óptimo para el desarrollo del comercio, personas de otras provincias, cercanas y lejanas, la ven como una oportunidad para crecer (Diario El Universo, 2020).

Al verse reflejado este mayor número de habitantes nacen ciertas necesidades que deben ser cubiertas por la municipalidad de la ciudad en primer lugar, como es de brindar un hábitat más confortable y seguro al ciudadano.

La creación de zonas residenciales va de la mano con la construcción de nuevas vías de acceso, mismas que debido a la afluencia vehicular, dependiendo su ubicación, incluyen la construcción de pasos a desniveles para la circulación segura del peatón.

Dentro del espacio público se encuentran elementos que permiten la movilidad peatonal, donde el peatón pueda sentirse cómodo y seguro. Estos pueden ser espacios naturales o artificiales.

En los espacios artificiales, para la movilidad peatonal, se encuentran:

- 1) Vía: Espacio abierto al público en general que permite el tránsito de personas, animales y vehículos.
- 2) Ciclo rutas: Son vías específicamente construidas para el tránsito exclusivo de bicicletas, patinetas y otros medios alternativos de transporte.
- 3) Aceras: Son espacios diseñados comúnmente de hormigón y dedicados a la circulación exclusiva de peatones.

4) Pasos peatonales: Son puentes o túneles construidos para independizar la circulación vehicular de los peatones en zonas que puedan ser riesgosas para quienes se movilizan a pie.

1.2 Localización

Para comprender el alcance de este sistema de circulación peatonal, realizamos un levantamiento en la ciudad para poder determinar la cantidad exacta de pasos peatonales, su longitud y materiales de construcción en la actualidad.

Tabla 1-1 Puentes peatonales en la ciudad de Guayaquil al 2021, los autores

NUMERO	NOMBRE	LONGITUD	MATERIAL
1	BASE NAVAL SUR	65.00	HORMIGÓN
2	REGISTRO CIVIL SUR	67.50	HORMIGÓN
3	HOSPITAL DEL IESS SUR	66.70	HORMIGÓN
4	ENTRE CDLA LAS ACACIAS Y CDLA VILLAMIL	68.60	HORMIGÓN
5	ENTRE CDLA LAS ACACIAS Y CDLA LA SAIBA	68.60	HORMIGÓN
6	JOSÉ DE ANTEPARA Y GARCÍA COYENA	22.74	HORMIGÓN
7	JULIÁN CORONEL Y LORENZO DE GARAYCOA	40.01	HORMIGÓN
8	AV. PEDRO MENÉNDEZ ENTRE SALA DE VELACIÓN Y CEMENTERIO GENERAL	45.63	HORMIGÓN
9	AV. PEDRO MENÉNDEZ ENTRE CDLA. LA FAE Y CDLA RIO GUAYAS	47.25	HORMIGÓN
10	AV. PEDRO MENÉNDEZ BASE NAVAL NORTE	46.12	ACERO
11	AV. CONSTITUCIÓN ENTRE MALL DEL SOL Y HOTEL SHERATON	43.85	ACERO
12	AV CARLOS LUIS PLAZA DAÑIN FRENTE A HOGAR SAN JOSÉ	25.00	HORMIGÓN
13	AV. CARLOS LUIS PLAZA DAÑIN ENTRE POLICENTRO Y PLAZAQUIL	40.00	HORMIGÓN
14	AV. 9 DE OCTUBRE Y PUENTE 5 DE JUNIO	35.00	ACERO
15	AV. CARLOS JULIO AROSEMENA FRENTE A LA UNIVERSIDAD CATÓLICA	38.35	HORMIGÓN
16	AV. CARLOS JULIO AROSEMENA FRENTE A COLEGIO 28 DE MAYO	32.35	ACERO
17	AV CARLOS JULIO AROSEMENA FRENTE A LA UNIVERSIDAD SANTA MARÍA CASA GRANDE	42.08	HORMIGÓN
18	AV. BENJAMÍN CARRIÓN Y AV JUAN TANCA MARENGO	24.30	HORMIGÓN
19	AV MARTHA BUCARAM ENTRE COMISARIATO Y LOS CEIBOS	39.45	HORMIGÓN
20	AV. MARTHA BUCARAM CENTRO COMERCIAL EL ROBLE	45.60	HORMIGÓN
21	AV. MARTHA BUCARAM (VÍA DAULE) ENTRE PROSPERINA Y MAPASINGUE ESTE (AGA)	44.30	HORMIGÓN
22	AV. MARTHA BUCARAM FRENTE A COLEGIO DOLORES SUCRES	45.40	HORMIGÓN
23	AV. BARCELONA FRENTE AL ESTADIO MONUMENTAL BARCELONA S.C.	380.32	HORMIGÓN
24	AV. JUAN TANCA MARENGO FRENTE A CIUDADELA MARTHA DE ROLDÓS	36.00	HORMIGÓN
25	AV. JHON FITZGERALD KENNEDY FRENTE A CDLA. BOLIVARIANA	28.50	HORMIGÓN
26	AV. JHON FITZGERALD KENNEDY FRENTE AL COLEGIO LA MERCED	30.80	HORMIGÓN
27	AV. BENJAMÍN ROSALES CDLA. SANTA ELEONOR	30.25	ACERO
28	AV. BENJAMÍN ROSALES TERMINAL TERRESTRE	65.68	HORMIGÓN

NUMERO	NOMBRE	LONGITUD	MATERIAL
29	AUTOPISTA TERMINAL PASCUALES COOP. LIMONAL	61.50	HORMIGÓN
30	AUTOPISTA TERMINAL PASCUALES JUAN PABLO II	61.70	HORMIGÓN
31	AUTOPISTA TERMINAL PASCUALES VERGELES	62.00	HORMIGÓN
32	AUTOPISTA TERMINAL PASCUALES LOS GERANIOS	61.70	HORMIGÓN
33	AUTOPISTA TERMINAL PASCUALES MUCHO LOTE	62.96	HORMIGÓN
34	AUTOPISTA TERMINAL PASCUALES CDLA METRÓPOLIS	61.83	HORMIGÓN
35	AV DE LAS AMÉRICAS AGUIRRE ABAD	54.17	ACERO
36	LUIS CORDERO CRESPO AGUIRRE ABAD	46.92	HORMIGÓN
37	AV DE LAS AMÉRICAS DIRECCIÓN ZONAL DE AVIACIÓN CIVIL	44.12	ACERO
38	AV DE LAS AMÉRICAS CENTRO DE CONVENCIONES	45.00	ACERO
39	AV DE LAS AMÉRICAS AVIACIÓN NAVAL	44.36	ACERO
40	AV DE LAS AMÉRICAS CDLA SIMÓN BOLÍVAR	53.72	ACERO
41	AV DE LAS AMÉRICAS AEROPUERTO JOSÉ JOAQUÍN DE OLMEDO	51.40	ACERO
42	AV PIO JARAMILLO CDLA COVIEM	60.45	ACERO
43	VÍA PERIMETRAL ISLA TRINITARIA PAI #21	66.70	ACERO
44	VÍA PERIMETRAL ISLA TRINITARIA AV. 32B SO	37.70	HORMIGÓN
45	VÍA PERIMETRAL ISLA TRINITARIA AV. 34 SO	36.90	HORMIGÓN
46	VÍA PERIMETRAL PARADA DE BUSES INTERPROVINCIALES	46.40	HORMIGÓN
47	VÍA PERIMETRAL CEIBOS NORTE	47.00	HORMIGÓN
48	VÍA PERIMETRAL INGRESO SOCIO VIVIENDA	43.74	HORMIGÓN
49	VÍA PERIMETRAL AV. EDUARDO SOLA FRANCO	66.60	ACERO
50	VÍA PERIMETRAL COLEGIO TERESA AZUCENA CARRERA LOOR	63.35	HORMIGÓN
51	VÍA PERIMETRAL HOTEL LADA	45.70	HORMIGÓN
52	VÍA PERIMETRAL MALL DEL FORTÍN	76.20	HORMIGÓN
53	VÍA PERIMETRAL HOSPITAL UNIVERSITARIO	46.70	HORMIGÓN
54	VÍA PERIMETRAL CERRO EL JORDÁN	48.70	HORMIGÓN
55	VÍA PERIMETRAL COLEGIO DR. EMILIO GARCÍA	43.90	ACERO
56	VÍA A LA COSTA PUERTO AZUL	45.75	HORMIGÓN
57	VÍA A LA COSTA PUERTO HONDO	48.10	HORMIGÓN
58	VÍA A LA COSTA CHONGO	32.75	HORMIGÓN
59	AV DEL BOMBERO FRENTE AL RIO CENTRO - LOS CEIBOS	74.05	HORMIGÓN
60	AV DEL BOMBERO FRENTE AL COLEGIO JAVIER	40.56	HORMIGÓN
61	AV MARCEL LANIADO DE WIND - TERMINAL BASTIÓN POPULAR - CDL - MONTEBELLO	29.25	ACERO
62	AV CAMILO PONCE ENRIQUE, TERMINAL SATÉLITE (PASCUALES)	71.00	ACERO
63	AV. CASUARINA MONTE SINAI	20.00	HORMIGÓN
64	CALLE ALEJO LASCANO ENTRE AV. QUITO Y AV. MACHALA	16.00	HORMIGÓN
65	AV FRANCISCO ORELLANA - PARQUE SAMANES	74.50	HORMIGÓN
66	AV. BARCELONA FRENTE AL ESTADIO MONUMENTAL BARCELONA S.C.	380.32	HORMIGON

Mediante el levantamiento se comprobó que en la actualidad existen construidos y en funcionamiento 66 pasos peatonales, que se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de toda la ciudad. El paso peatonal de la avenida Barcelona es un caso excepcional,

debido a que cruza el estero salado, se lo diseño de una gran longitud, siendo el más extenso en ser construido en la ciudad.

Se prevé un incremento en estas cifras, ya que se conoce que se tienen proyectados más pasos peatonales en las zonas donde se evidencia mayor crecimiento poblacional como es Vía la Costa, en la cual ya se ha informado la posibilidad de construir tres nuevos pasos peatonales en los próximos meses(ATM, 2019).

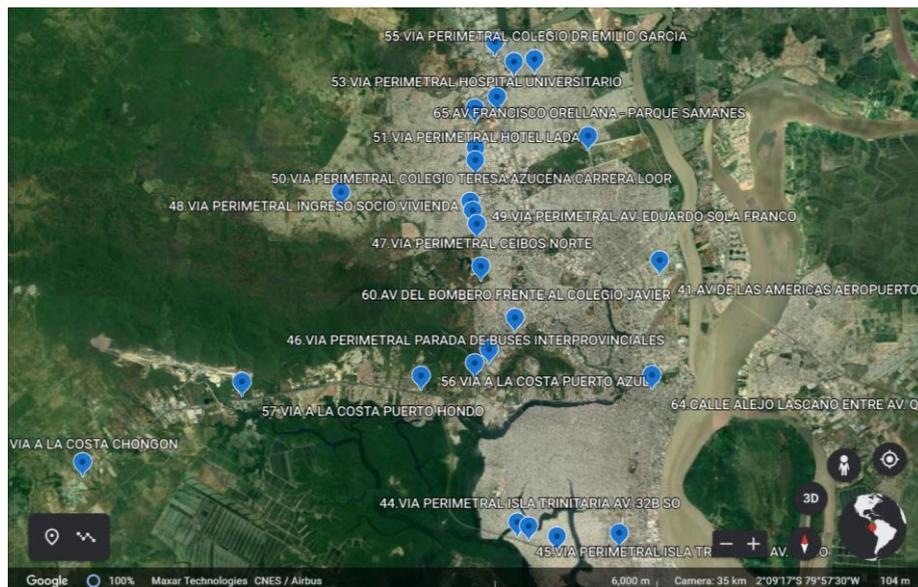


Figura 1-1 Ubicación de los puentes peatonales en la ciudad de Guayaquil

Los pasos peatonales de la ciudad tienen algo en común, debido a las vías o autopistas en las cuales se encuentran ubicados, son de longitudes medianas - cortas en comparación a los construidos en otros países. La longitud promedio de los pasos peatonales en Guayaquil es de 53 metros.

1.3 Problema a resolver

El desarrollo poblacional, debe de ir de la mano del desarrollo sostenible y económico, lo cual no ocurre en la ciudad de Guayaquil, a medida que se continúen construyendo pasos peatonales, se debe profundizar en el estudio de nuevos materiales que, dentro de su ciclo de vida y costo, tengan una menor afectación al medio ambiente y resulten más económicos.

Los materiales más comunes empleados en la construcción de pasos peatonales son el acero estructural y el hormigón armado. En promedio un 74% de ellos son construidos de hormigón y el restante de estructura metálica.

El material mayormente empleado para la construcción actual resulta ser el hormigón, según la NEC (De & Construcción, 2015) el hormigón es considerado como “la mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”. En el caso del hormigón armado, a esta definición de hormigón añadimos la presencia de acero de refuerzo en barras para brindarle al elemento una mejora en su resistencia.

Sin embargo, la producción del cemento portland, enfrenta un alto problema de consumo de energía y recursos, lo que repercute en alto impacto ambiental. En china, en 2017 se consumieron 2,316 millones de toneladas de cemento, abarcando el 60% de consumo global (Zhao et al., 2021).

Se gasto aproximadamente 175 millones de toneladas de carbón estándar para generación de energía, se utilizaron casi 2 mil millones de toneladas de piedra caliza, arcilla y otros recursos, y la emisión de Dióxido de carbono(CO₂) fue de aproximadamente 1,491 millones de toneladas y Dióxido de azufre (So₂) de aproximadamente 3 millones de toneladas (Zhao et al., 2021).

Como todo problema, existe una solución, las estructuras de hormigón al cumplir el propósito por el cual fueron construidas, pueden ser demolidas y recicladas. El hormigón reciclado se obtiene a partir de agregados y áridos, procedentes de la trituración de los residuos de hormigón, sin embargo, no todos los países cuentan con plantas recicladoras de hormigón.



Figura 1-2 Puente peatonal Av. Narcisca de Jesús, Valle de Los Geranios

Por otro lado, la estructura metálica es un material que cada vez tiene más acogida en la construcción porque resulta ser más rápido el montaje empleando este material, es considerado un material uniforme, es decir, que no cambia sus propiedades con el pasar del tiempo y tiene un mejor comportamiento ante los sismos (Sosapanta Cristhian Eduardo Figueroa Bernal Alfer Justo, 2008).

El acero estructural es la aleación entre hierro y carbono, aunque en ciertos casos se combinan otros elementos como el cromo, silicio, fósforo y el níquel para usos específicos. En Ecuador el acero comercial para estructuras metálicas es el acero ASTM A 36 con límite de fluencia de 250 MPa.



Figura 1-3 Puente peatonal Av. Camilo Ponce Enrique, Terminal Satélite (Pascuales)

La industria del hierro y el acero, es una industria típica de altas emisiones de carbono y de uso intensivo de materiales y energía (Quader et al., 2015). Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), las emisiones globales de Co2 relacionadas con la energía en 2019 fueron de aproximadamente 33 mil millones de toneladas, de las cuales el 14 % fueron generadas por la industria del hierro y el acero (IEA, 2020) .

La producción del acero representa el 27% de generación directa de CO2, del 3 al 4% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) y el 19% de uso de energía (Romano et al., 2020), sin embargo, el acero es un material multiciclo, es decir que se puede reutilizar repetidamente sin perder sus cualidades. La infraestructura para la recuperación mediante el reciclaje del acero está profundamente desarrollada y es eficiente.

Otra solución dentro del campo de la investigación para mejorar los materiales de construcción existentes es el uso de los cementos activados alcalinamente o geopolímeros como reemplazo del cemento tradicional. Estos cementos que

posteriormente se convertirán en hormigones alcalinos, se caracterizan por presentar, bajo calor de hidratación y excelente desempeño frente a diferentes agentes químicos (ácidos, ataque por sulfato, resistencia al fuego, etc.).

El gasto energético y las emisiones de dióxido de carbono, del proceso de producción de los cementos alcalinos son notablemente inferiores a los requeridos en la fabricación de cemento Portland tradicional; algunas investigaciones estiman que estas reducciones están entre un 60- 70% (Carrasco & Puertas, 2017).

Este tipo de cementos en muchas ocasiones ofrece en su fabricación, el uso de residuos industriales como única materia prima, evitando de esta manera que estos residuos se acumulen en vertederos contribuyendo a la contaminación ambiental.



Figura 1-4 Puente peatonal de Rotterdam, Países Bajos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Comparar diferentes materiales empleados en la construcción de puentes peatonales en la ciudad de Guayaquil, para la selección del material más idóneo mediante el análisis del ciclo de vida, desempeño estructural y análisis de costo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar el ciclo de vida de los materiales: hormigón armado, acero estructural y geopolímeros reforzado con fibras (GFRP) utilizados como materiales para la construcción de puentes peatonales.
- Analizar el desempeño estructural de un paso a desnivel peatonal construido a base de los tres tipos de materiales propuestos empleando un software de diseño y análisis estructural SAP2000.
- Realizar el análisis de costo correspondiente a la pasarela de un puente peatonal modelo empleando la herramienta REVIT para el cálculo de cantidades de los diferentes materiales.

1.5 Justificación

Ecuador, está considerado entre los países que posee mayor mega diversidad del mundo, debido a que posee grandes recursos naturales, también somos conscientes de que ha sufrido un gran impacto de las grandes industrias sobre tales recursos, debido a las necesidades de los habitantes. El mayor atributo del país es su biodiversidad, por ello es vital saberla aprovechar de manera adecuada, mediante su conservación y su uso sustentable (Puentestar, 2015).

El sector de la construcción es considerado uno de los sectores de mayor productividad y tiene un gran impacto en la economía y desarrollo de un país, de la misma manera su afectación negativa tiene mayor afectación al momento de producir, usar o deshacerse de un producto (De Carvalho Filho, 2001).

A partir de este análisis, se crea la necesidad de la búsqueda y desarrollo a nivel mundial de materiales de construcción ecológicos, respetuosos con el medio ambiente y de bajo consumo de energía.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Puentes peatonales

Los puentes peatonales, varían según el tipo de obra, el propósito de diseño y los materiales de construcción, los cuales se pueden clasificar según (Dimopoulou & Khoshkhoo, 2015) por :

- La flexibilidad de la estructura (fijo o móvil).



Figura 2-1 Puente fijo canal de Magdeburgo, Alemania/ Puente móvil la torre, Londres (Referencia)

- La posición de la calzada (puente tipo cubierta, pasante y semipasante).

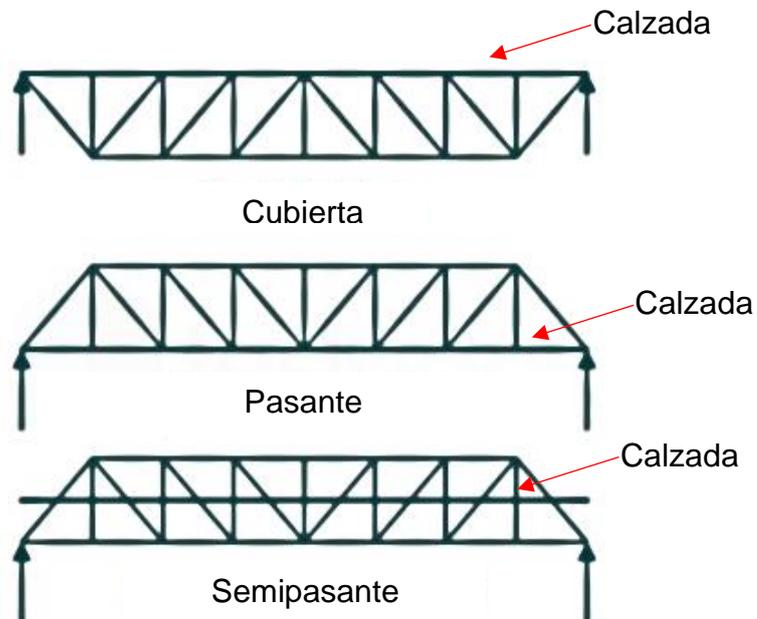


Figura 2-2 Tipo de puente según la posición de su calzada.

- Longitud de su calzada (simple, continuo o en voladizo).

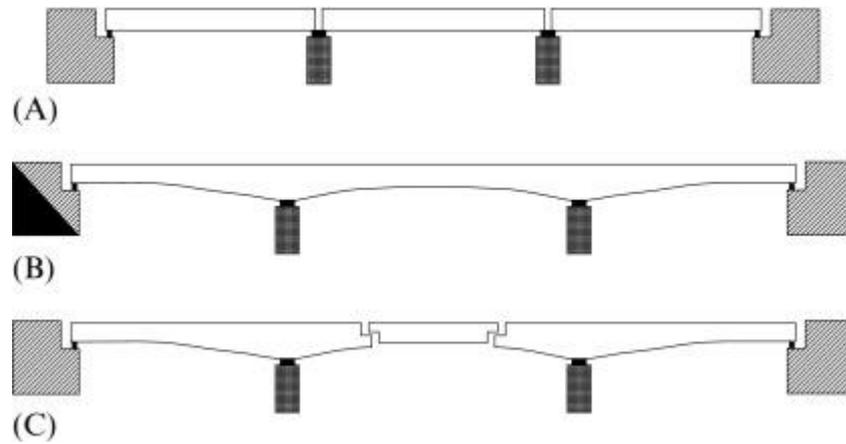


Figura 2-3 Tipo de puente según la longitud de su calzada, a) simple, b) continuo y c) en voladizo.

- Tipo de estructura (viga, losa, cercha, arcos, cables suspendidos o cables atirantados).
- Los materiales de construcción (madera, piedra, hormigón, acero, geopolímeros, entre otros).

2.1.1 Tipo de estructura

Los tipos más comunes de puentes peatonales según su tipo de estructura son los siguientes

1. Puentes de vigas y losa
2. Puentes en arco
3. Puentes colgantes
4. Puentes atirantados

Puente Viga losa

Estos tipos de puente son económicos y de fácil construcción (Kramer, 2004). Tienen una estructura simple, con vigas horizontales sostenidas por pilares, son anchos en comparación con la altura de su losa y tiene la capacidad de dividir la carga en áreas muy amplias (Teemu Ahonen & Martina Jurigova, 2012). Para reforzar este tipo de puentes se puede optar por cerchas o pilotes.



Figura 2-4 Puente viga losa (Billington, 2021).

Puente en arco

Los puentes en arco son de los más antiguos, generalmente construidos de piedra o ladrillo, en la actualidad se los construyen de hormigón o acero. Llevan la carga a lo largo de la curva del arco hasta el suelo, donde se pueden fijar o anclar en ambos extremos (Beek, V. & Ages, 2008).



Figura 2-5 Puente en arco (Billington, 2021).

Puentes colgantes

Los primeros puentes colgantes estaban hechos de cuerda y madera, hoy en día están hechos de muchos alambres de acero unidos entre sí y son fuertes bajo tensión.

Los puentes colgantes suspenden su pasarela entre dos torres altas, mediante cables de alta resistencia. Los cables transfieren el peso de la calzada a compresión a las torres y estos los disipan directamente a los bloques de anclaje, que generalmente es una enorme caja de hormigón o roca sólida.



Figura 2-6 Puente colgante (Billington, 2021).

Puentes atirantados

Los puentes atirantados pueden parecer similares a los colgantes, debido a que ambos tienen torres que llevan la carga mediante cables y lo transfieren al suelo. Las diferencias entre estos puentes son la forma en que los cables están conectados a la torre (Vasani & Bhoomika, 2003). Este tipo de puentes son estables al viento, representan un menor costo de construcción a comparación de los colgantes, debido a que no necesitan bloques de anclaje macizos.

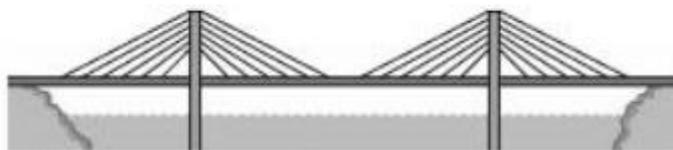


Figura 2-7 Puente atirantado (Billington, 2021).

El puente considerado en esta tesis es el tipo viga losa, debido a que este sistema de construcción es uno de los más usados en la ciudad de Guayaquil.

2.1.2 Efecto dinámico del peatón en las pasarelas de puentes peatonales.

Al hablar del confort del peatón al cruzar por los puentes peatonales, se debe de analizar los efectos dinámicos, que son causados por los peatones y el viento, los cuales han provocado fallas estructurales en pasarelas a lo largo de los años. Por lo tanto, se

evalúan las propiedades dinámicas correspondientes a las vibraciones verticales, horizontales y de torsión, también se debe de considerar la rigidez estructural, la masa y el amortiguamiento (Dimopoulou & Khoshkhou, 2015).

Acorde a (UNE-EN 1992-2, 2005) Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 2: Puentes de hormigón. Reglas de diseño., si la frecuencia fundamental de la pasarela es menor a 5 Hz para las vibraciones verticales y menor a 2.5 Hz para las vibraciones horizontales y de torsión, se deberán realizar las verificaciones de vibración bajo los criterios de confort. Se debe de considerar también que la aceleración máxima aceptable no debe exceder 0.7 m/s^2 en vertical y 0.2 m/s^2 en la dirección horizontal.

El rango de frecuencia promedio de los peatones al caminar, es aproximadamente entre 1 Hz y 3 Hz en dirección vertical y entre 0.5 Hz y 1.5 Hz en dirección horizontal.

El tipo de densidad de tráfico peatonal tiene una gran influencia en el estado inicial de diseño, las pasarelas de los puentes peatonales dentro de las ciudades no están sujetas a la misma carga dinámica que la de los puentes peatonales a las afueras.

Al aumentar la densidad del tráfico en el puente, la velocidad de caminata del peatón se ve reducida, cada peatón debe corregir su velocidad de caminata al ritmo de la multitud, por lo tanto, si la densidad de peatones aumenta, cada peatón no podrá caminar a su propia frecuencia.

A una densidad peatonal promedio de 0.5 personas/m^2 aparecen las primeras restricciones de movimiento y el paso se vuelve muy difícil, cuando esta densidad alcanza un valor de 0.6 personas/m^2 la libertad de movimiento se vuelve extremadamente limitada (du béton & Concrete, 2005).

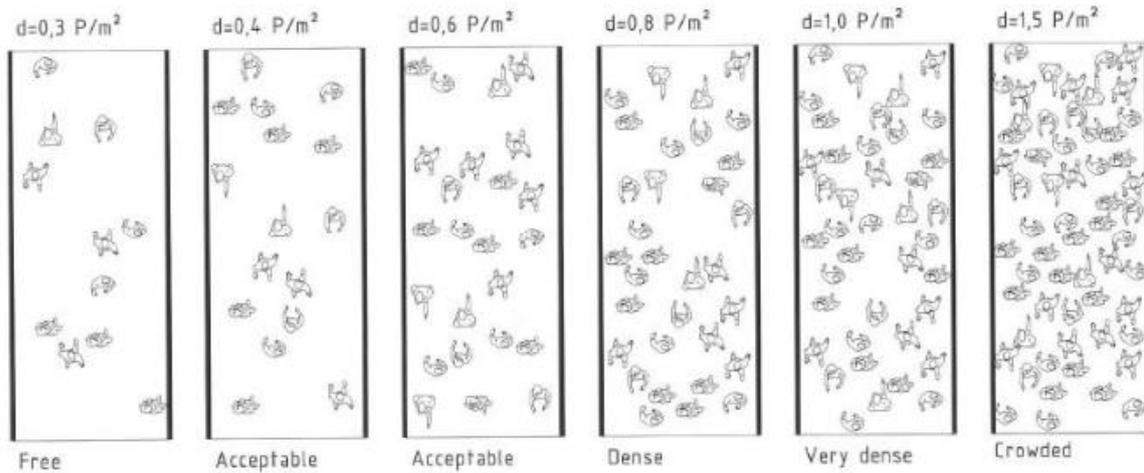


Figura 2-8 Aumento de la densidad peatonal acorde a (du béton & Concrete, 2005).

Con relación al viento, otra propiedad dinámica importante es la frecuencia natural y el amortiguamiento. El comportamiento de amortiguación del puente aparece después de la construcción de este, y depende de múltiples parámetros como los materiales de construcción, la superficie de la calzada, las condiciones de apoyo, los pasamanos y la cantidad de gente que transita en el puente.

Estructural material	Amortiguación sugerida valores (ξ)	Referencias
Reforzado hormigón	0,8 - 1,5%	Bachmann y Weber (1995)
	0,8 - 1,3%	Sétra (2006), Hivoss (2008), Heinmeyer et al. (2009)
	0,8%	Blanchard y col. (1977), ISO (2005)
	1,5%	BSI (2003)
Pretensado hormigón	0,5 - 1,0%	Bachmann y Weber (1995), Setra (2006), Heinmeyer y col. (2009)
	0,8%	Blanchard y col. (1977), ISO (2005)
Compuesto (acero y hormigón)	0,3 - 0,6%	Bachmann y Weber (1995), Setra (2006), Heinmeyer y col. (2009)
	0,5%	BSI (2003)
	0,6%	Blanchard y col. (1977), ISO (2005)
Acero	0,2 - 0,5%	Bachmann y Weber (1995)
	0,2 - 0,4%	Sétra (2006), Heinmeyer et al. (2009)
	0,5%	Blanchard y col. (1977), BSI (2003), Heinemeyer et al. (2009), ISO (2005)
Madera	0,4 - 1,5%	Labonnate y col. (2003)
	0,5%	Schubert y col. (2010)
	1,0 - 1,5%	Hivoss (2008), Heinmeyer et al. (2009)
	1,5 - 3,0%	Sétra (2006)
Aluminio	0,4%	Mevada y Patel (2016), Umashankar et al. (2009)
GRFP	0,3 - 1,2%	Zivanovic y col. (2014)
	0,4%	Cadei y col. (2002)

Tabla 2-1 Valores de amortiguamiento en puentes peatonales (Garcia-Troncoso et al., 2020).

2.1.3. Componentes de un puente viga losa.

Este tipo de puentes se pueden dividir en dos partes, según (Rodríguez Hinostriza, 2019):

Superestructura:

Pasarela: está formado por la losa de concreto, piso metálico o madera, el mismo que se asienta sobre las vigas principales en forma directa o a través viguetas transversales, siendo el elemento que soporta directamente las cargas.

Estructura portante: es el elemento resistente principal de un puente, los cables en el caso de ser un puente colgante y en el puente en arco sería el anillo que forma el arco.

Subestructura:

Estribo: son los apoyos extremos del puente, que transfieren la carga de éste al terreno y que sirven además para sostener el relleno de los accesos al puente.

Pilares: Son los apoyos intermedios, es decir, que reciben reacciones de dos tramos de puente, transmitiendo la carga al terreno

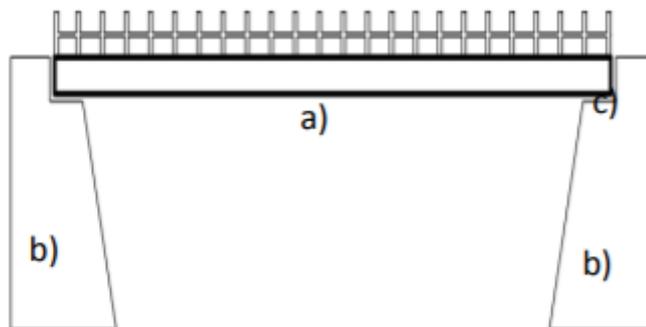


Figura 2-9 Partes de un puente tipo viga losa, a) Pasarela, b) pilares, c) Estribos.

2.2 Ciclo de vida de los materiales

Cuando se habla del ciclo de vida de un producto, proceso o tecnología se hace referencia a una metodología cuyo objetivo es el distinguir, medir y determinar los

posibles impactos ambientales, asociados a cada etapa del ciclo de vida de un producto. (Mora Peris et al., 2008).

Implementando el análisis de ciclo de vida (ACV) podemos determinar el flujo de un sistema – entradas (materia y energía) y salidas (productos y emisiones en general) – para finalmente evaluar sus potenciales impactos al medio ambiente, y con sus resultados iniciar el desarrollo de productos eco amigables. (De Carvalho Filho, 2001).

La industria de la construcción es considerada como un sector pujante para amplias oportunidades en el desarrollo de un país, se cree que es la industria que emplea mayor número de personal en el mundo, en particular en Ecuador se considera que representa el 10% de su producto interno bruto (Vascones & Villena, 2018)

Su afectación a la economía del país es debido a su basta capacidad de generar gran cantidad de empleos y a su relación con la formación de la infraestructura productiva. Se ha demostrado que este desarrollo se halla estrechamente vinculado al sector de la construcción. Adicional, la industria de la construcción se considera una actividad transversal a todos los demás sectores productivos, como agricultura, industria, comercio, servicios, etc., ya que en todas se requiere de obras civiles para llevar a cabo sus actividades. Como consecuencia, el aumento o reducción de las actividades en la construcción afectan notoriamente a los sectores relacionados, amplificando su efecto en la economía total del país. (Acebo, 2016).

Para este caso en particular, nos centraremos en el análisis del ciclo de vida de tres materiales, dos son comúnmente empleados en la construcción de pasos peatonales en la ciudad (hormigón armado y acero estructural) y el tercero, debido a la innovación de la era actual, es una nueva propuesta de material a emplearse en futuras construcciones, el geopolímero reforzado con fibra.

2.2.1 Ciclo de vida del hormigón

Para referirnos al ciclo de vida del hormigón, en la industria de la construcción iniciamos con la extracción de la materia prima, comúnmente se da lugar en canteras, continua con el proceso de producción en planta del cemento, el transporte del cemento como tal a la planta de hormigón, una vez en la planta en su composición se toman en cuenta varios

materiales como son los aditivos, agregados, el agua. Finalmente llegamos a la planta, es decir el análisis culmina cuando el concreto sale de la planta. (Daniel Duque, 2014).

Los recursos de materia prima para la generación del hormigón son muy limitados, la producción como tal suele comprender el uso de altos recursos energéticos causando una alta producción de CO_2 .

En la actualidad uno de los casos más preocupantes es el calentamiento de la Tierra, debido al poco control en la propagación de los gases de efecto invernadero, donde la generación de CO_2 resulta ser la más crítica al tener mayor afectación adversa. La industria de la construcción es uno de los sectores que más influye en el cambio climático, la razón principal es porque la fabricación de cemento Portland provoca una emisión considerable de CO_2 , se cree que llega a ser un 5% del balance acumulado de emisiones mundiales y también que podría ser responsable de generar entre un 40 - 50% de todos los gases de efecto invernadero (García-Segura et al., 2014).

El enfoque que se debe tomar es el de rediseñar la producción de estos elementos con menores niveles de consumo energético y con la implementación de alternativas en los suplementos que se utilizan en su producción. La implementación de cementos con adiciones puede reducir drásticamente este tipo de emisiones, incluso a un 40% (Daniel Duque, 2014).

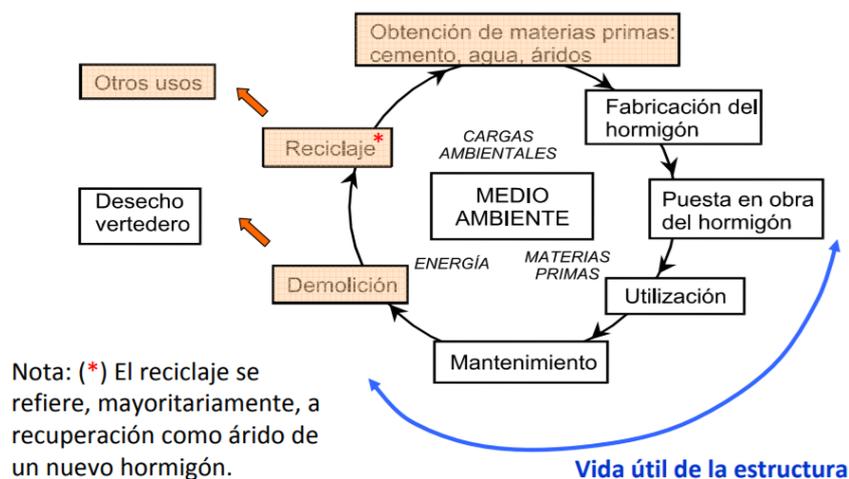


Figura 2-10 Ciclo de vida del hormigón, (HMB, 1999)

2.2.2 Ciclo de vida de la estructura metálica

En el mundo 20.000 millones de toneladas de acero han sido recicladas desde el siglo XIX y en la actualidad se reciclan en nuestro planeta, hasta 15 toneladas de acero por segundo, dando como resultado un total anual de 500 millones de toneladas (Ingeniería, 2020).

Los productos de acero fabricados con mineral de hierro como su principal elemento solo contienen un 10- 20% de chatarra, al final de su vida útil el producto se recicla un 85- 90% (Constructalia, 2019).



Figura 2-11 Ciclo de vida del acero, (Ingeniería, 2020).

Al culminar su vida útil, un elemento de acero estructural renace nuevamente al ser reciclado. De esta manera, este ciclo de reciclaje es un ciclo potencialmente sin fin, debido a que el acero es un recurso permanente en el que la industria siderúrgica lo recicla una y otra vez sin pérdida de su calidad (Ingeniería, 2020).

2.2.3 Ciclo de vida de los geopolímeros reforzados con fibra (GFRP)

En la actualidad, un nuevo material está ganando popularidad como material de construcción para puentes peatonales. Los geopolímeros a través del tiempo, han surgido como una alternativa más ecológica para ser utilizados como reemplazo a los materiales a base de cemento, ambos materiales comparten propiedades físicas, como son la respuesta mecánica y la conductividad térmica.

Los geopolímeros, pueden ser fabricados a partir de muchos tipos de materias primas, las más utilizadas como precursores sólidos son los aluminosilicatos, esto representa una ventaja sobre los materiales de construcción tradicionales.

Los geopolímeros se definen como una masa amorfa, sólida y estable de aluminosilicato formado por la activación alcalina del precursor sólido. El principio básico de la síntesis alcalina consiste en la mezcla de una solución altamente alcalina con un reactivo aluminosilicato (Provis & Van Deventer, 2009).



Figura 2-12 Síntesis del geopolímeros.

Los precursores sólidos o aluminosilicatos son minerales que contienen óxido de aluminio y sílice, los más conocidos en el medio natural son el feldespato, las cloritas, arcilla tratada, toba rica en zeolita, cenizas volantes, metakaolin (zeolita sintetizada), algún tipo de puzolana, etc (Ranjbar & Zhang, 2020).

Las sales de álcalis o los hidróxidos alcalinos son los más utilizados como activadores alcalinos. Se clasifican en seis grupos de acuerdo con su composición química (Shi et al., 2003):

1. Hidróxidos alcalinos: MOH
2. Sales de ácidos débiles: M_2CO_3 , M_2SO_3 , M_3PO_4 , MF, etc.
3. Silicatos: $M_2O \cdot nH_2O$
4. Aluminatos: $M_2O \cdot nAl_2O_3$

5. Aluminosilicatos: $M_2O \cdot nAl_2O_3 \cdot (2-6)SiO_2$
6. Sales de ácidos fuertes: M_2SO_4

La síntesis térmica se ha logrado alcanzar a temperaturas que bordean los 900 °C, en comparación de los 1450°C que se necesitan para someter al Clinker en la fabricación del cemento, obteniendo buenos resultados de resistencias mecánicas en mortero como en cemento (Zhao et al., 2021).

Sin embargo, los geopolímeros presentan ciertas deficiencias en algunas propiedades que deben ser mejoradas, entre ellas, la tenacidad y endurecimiento, muestran características frágiles y sufren de baja resistencia a la tracción y grietas bajo cargas mecánicas bajas o fuerzas de contracción. Estas propiedades pueden ser mejoradas, significativamente con la adición de aditivos químicos, aditivos minerales, nanopartículas, fibras, etc. (Ranjbar & Zhang, 2020).

Los puentes peatonales construidos con GFRP tienen muchas ventajas en comparación con los puentes que se han construido con materiales de construcción tradicionales. Algunas de las ventajas que pueden proporcionar los puentes de FRP son el corto tiempo de construcción, la resistencia a la corrosión, el aspecto estético y el buen comportamiento frente a la fatiga y los movimientos sísmicos (Jin & Ye, 2011).

En la fase de demolición y termino del ciclo de vida de los geopolímeros reforzado con fibras, hay varias opciones. La opción óptima es reducir el desperdicio o reutilizar este material. Dado que los elementos fueron construidos para casos específicos, no es posible reutilizarlos en la fase de fabricación o construcción. Sin embargo, se han desarrollado varios métodos para reciclar los residuos de GFRP. Estos métodos garantizan que se reciclará la totalidad del material (Dimopoulou & Khoshkhoo, 2015).

CAPÍTULO 3

CONSIDERACIONES DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

3.1 Cargas y factores de cargas

Cargas Permanentes

Las cargas permanentes son conocidas de esta manera debido a que actúan constantemente a lo largo de la vida útil de un elemento estructural, o presentan cambios en un solo sentido hasta alcanzar su valor limitante. La más común de estas cargas es el peso propio de las estructuras o elementos y las cargas muertas adicionales mismas que pueden ser el peso de la superficie de rodadura, el empuje de tierra, los efectos causados por la contracción de fragua y el flujo plástico, las deformaciones permanentes que se originan en los procesos constructivos y los efectos de asentamientos en los apoyos.

Cargas No Permanentes

Son aquellas en las que su valor intermedio presenta variaciones reiteradas y significativas. Ejemplos comunes de cargas no permanentes son los pesos de los automóviles y de los seres vivos (personas, animales), así como los relacionados a los efectos dinámicos, las fuerzas de aceleración y de frenado, la fuerza centrífuga. De la misma forma pueden ser consideradas en esta sección las fuerzas realizadas durante el proceso constructivo, las producidas debido al empuje de agua y las sub-presiones, la variabilidad de temperatura, los efectos a causa de sismos y efectos del viento.

Cargas Excepcionales

Son las cargas que presentan una probabilidad de ocurrencia casi nula, pero que dadas ciertas condiciones deben ser consideradas en los cálculos del proyecto, como es el caso de las producidas al momento de una colisión, explosión o en caso de incendios.

3.1.1 Cargas Permanentes Peso Propio y Cargas Muertas

El peso propio se determinará considerando todos los elementos que sean indispensables para que la estructura funcione como tal. Las cargas muertas incluirán el peso de todos los elementos no estructurales, tales como veredas, superficies de rodadura, barandas, tuberías, ductos y cables.

El peso propio y las cargas muertas serán estimados sobre la base de las dimensiones indicadas en planos y en cada caso considerando los valores medios de los correspondientes pesos específicos.

Pesos Unitarios:

Hormigón Armado: 2800 Kg/ m³

Acero: 7850 Kg/ m³

Geopolímeros reforzado con fibras: 1850 kg/m³ (Díaz Suárez, 2018).

3.1.2 Cargas Variables

Cargas durante la construcción

En el diseño se tomarán en cuentas las cargas de los pesos propios de cada elemento y de los equipos empleados en el proceso de construcción, también es importante considerar las cargas del peso propio o cualquiera considerada permanente aplicada en cada etapa del proceso de la construcción. Deberá preverse la ubicación de todas las cargas permanentes o temporales en cada etapa, dejando margen para posibles imprecisiones o errores.

Deberá considerarse la posibilidad que, durante el proceso constructivo o como resultado de una posterior modificación, la carga muerta sea retirada parcialmente, pudiendo reducirse un posible efecto favorable.

Carga Viva Peatonal

Carga considerada: 420 Kg/m²

En la etapa de diseño debido a las cargas verticales se toman en cuenta en su totalidad, el 100% de las cargas vivas. En el diseño sísmico se selecciona el 50% de las cargas vivas.

En el caso de la cimentación se consideró la totalidad de la carga viva.

3.1.3 Cargas accidentales

A continuación, se enumeran las cargas accidentales que se usaran en el diseño final de la alternativa seleccionada:

Fuerzas Sísmicas

Al hablar de fuerzas sísmicas estas serán estimadas mediante cualquier procedimiento racional de análisis que considere las siguientes características: rigidez, ductilidad, al hablar de las masas y de la disipación de energía al analizar la estructura.

Como suposición tendremos que en el caso de las acciones sísmicas horizontales estas actúan en direcciones no determinadas. En el específico caso de que se realice el análisis en dos direcciones ortogonales, los efectos máximos de cada uno de los elementos serán estimados como la sumatoria de los valores absolutos obtenidos para el valor total de la fuerza sísmica en una dirección y el 30% de la fuerza sísmica en la dirección en el sentido perpendicular.

Definición de los movimientos sísmicos de diseño.

Es muy importante conocer las condiciones del suelo en cada zona a ser analizada ya que pueden afectar el comportamiento de una estructura, ampliando o aminorando su respuesta frente a un sismo.

Determinación del espectro de diseño.

La aceleración en roca utilizada 0.35g, se obtuvo de la Figura 3.1, obtenida de un informe del nuevo Código Ecuatoriano de la Construcción (De & Construcción, 2015), en el cual se toma como factor Z, para las diferentes zonas sísmicas.

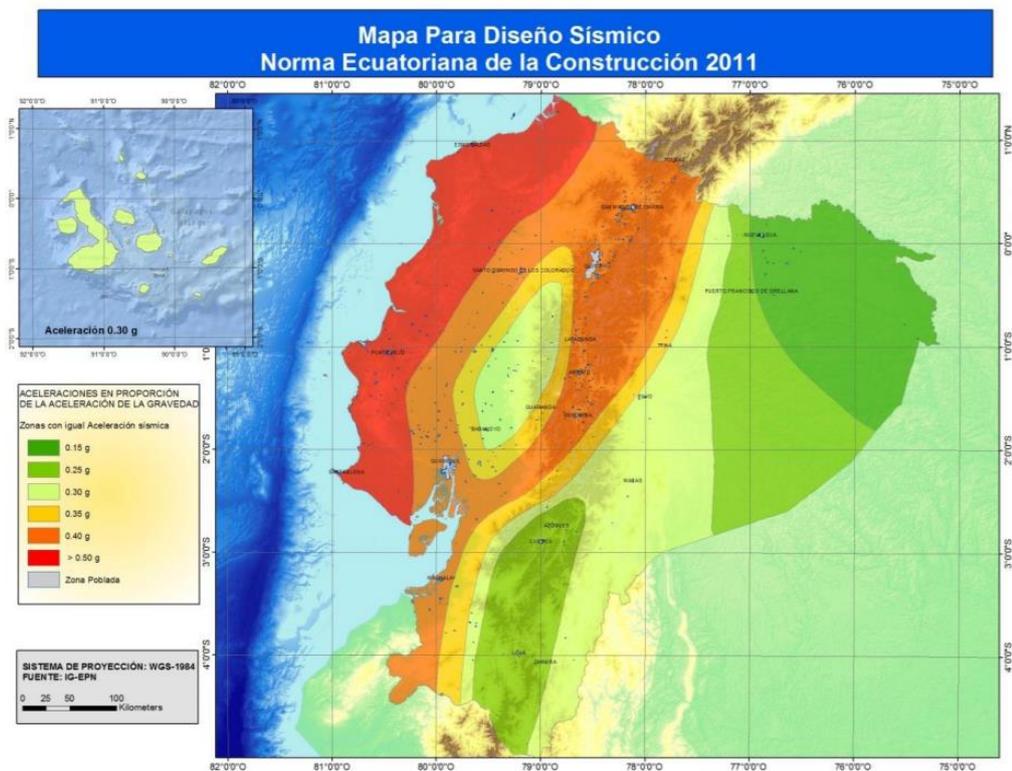


Figura 3-1 Mapa de zona sísmica Ecuador

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 3-1 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Espectro elástico, para un coeficiente de amortiguamiento igual al 5% del crítico.

- Para la aceleración en roca, $A_a = 0.35 g$.
- Coeficiente de importancia, $I = 1$
- Para el espectro de respuesta elástica de diseño, $S = 1.5$

3.2 CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

3.2.1 Acero Estructural

En el acero estructural las propiedades físicas de mayor interés para el diseñador: esfuerzo de fluencia, esfuerzo de ruptura en tensión, resistencia, deformación, ductilidad, elongación, tenacidad, resistencia al impacto y a choques, soldabilidad, dureza, composición química, etc.

Para el análisis del paso peatonal construido con estructura metálica las estructuras estarán formadas en su mayoría por elementos tubulares circulares, los cuales serán curvados para obtener su forma final.

En los diseños actuales de estructuras de acero se emplea la perfilera tubular de sección circular, sin embargo, ya no se limitan a sencillas secciones rectas o circulares, sino que se busca innovar con perfiles de formas más complejas, debido a su alto valor estético y esto acompañado de su alto desempeño estructural.

Como principal ventaja está el valor estético de las estructuras obtenidas mediante este sistema, las mismas que brindan al usuario luz natural y sentido de mayor espacio y confort en lugares públicos como aeropuertos, estaciones, centros comerciales, entre otros.

El valor agregado a obtener dichos acabados resulta muy poco considerable en comparación con el coste global de la estructura, y considerarse insignificante en ciertas ocasiones, por ahorros en los detalles varios.

Como resultado de las construcciones empleando estos elementos se obtienen estructuras que poseen similitudes a pórticos, por lo que, no pueden considerarse como tales a nivel de cálculo en esos específicos casos. Las bases matemáticas

empleadas para explicar estructuras como éstas pasan de emplear geometría analítica a considerar la geometría diferencial.

Al momento de diseñar, manteniendo un equilibrio entre costos y calidad, es necesario una secuencia de procesos completa y computarizada. No es suficiente limitarse a la generación de planos y datos, debe implementarse una fabricación de componentes asistida por sistemas computacionales, de tal manera que la soldadura sea la única operación susceptible de ser aplicada manualmente, única con probabilidad de error por lo cual debe ser supervisada cuidadosamente.

Cuando se da la fabricación de estructuras a partir de perfilería tubular de acero curvado se necesita de dos pasos primordiales: el curvado de los perfiles y el corte de sus extremos con el correspondiente mecanizado de los contornos de la intersección.

En el proceso de curvado en frío, el material rebasa el límite elástico y por ende se crea una deformación permanente en el perfil. En el caso de los aceros estructurales utilizados con mayor frecuencia, la deformación soportada durante el proceso de curvado no es nociva, de esta forma, luego del curvado, este material mantiene las mismas condiciones elásticas en la zona curvada que las que tenía antes del curvado. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que parte de la capacidad de deformación del perfil ha sido ya empleada.

El tipo de acero estructural empleado en el diseño es el ASTM-A36, a continuación, se detallan propiedades de este tipo de acero:

E (Módulo de Elasticidad) = 2039000 kg/cm²

G (Modulo de elasticidad al esfuerzo cortante) = 784000 kg/cm²

ν (Relación de Poisson) = 0.30

α (Coeficiente de dilatación térmica) = 1.1 x 10⁻⁶ por °C

γ (Densidad)= 7850 kg/m³

F_y (Esfuerzo de fluencia mínimo garantizado) = 2530 kg/cm²

F_u (Esfuerzo mínimo de ruptura en tensión) = 4080 kg/cm²

3.2.1.1 Ventajas del Acero como material Estructural

A continuación, se describe las ventajas o características técnicas del uso del acero estructural:

3.2.1.1.1 Costo

El acero estructural, a pesar de su elevado costo, es el material ideal para la construcción, especialmente para estructuras ubicadas en zonas sísmicas.

3.2.1.1.2 Mayor relación resistencia y rigidez por unidad de volumen.

Esta característica lo convierte en un material conveniente para estructuras ubicadas en zonas sísmicas, la disminución de peso es igual a la reducción de costos en la cimentación, y en estructuras de puentes en que el peso propio de la estructura es un porcentaje importante del peso total de la construcción.

3.2.1.1.3 Material Homogéneo

El acero es un material homogéneo que tiene magníficas propiedades de resistencia, ductilidad, tenacidad, capacidad para absorber energía y alta resistencia a la fatiga. De acuerdo con su alta resistencia, dentro de ciertos límites, el acero se comporta de manera satisfactoria cuando está sometido a diversos tipos de esfuerzos (tracción, compresión, flexión, flexo-compresión, torsión, etc.). Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura, sobre todo cuando está sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales, principalmente sismo o viento, ya que estas fuerzas pueden ocasionar inversión de esfuerzos, como es el caso de los pasos peatonales.

3.2.1.1.4 Manejabilidad de los componentes de la estructura en taller y en campo

Las piezas fabricadas en taller que tengan dimensiones permisibles se pueden transportar e instalar en sitios muy accidentados o en lugares con muchos obstáculos. Esta ventaja no solo hace que el transporte sea fácil, sino que reduce los costos de por este concepto.

3.2.1.1.5 Rapidez constructiva

La rapidez en la construcción probablemente sea otra de las ventajas importantes de las estructuras de acero, ya que mientras en el lugar de la obra se está construyendo la cimentación, al mismo tiempo en taller se está fabricando la super-estructura, quedando pendiente únicamente el montaje. Tomando en cuenta lo anterior y con una adecuada planeación y programa de trabajo del constructor se reduce el tiempo de ejecución de una obra proyectada en acero.

Partiendo del hecho de que la estructura es absolutamente prefabricada, está compuesta por miembros o elementos estructurales totalmente prefabricados, el montaje, contando con el equipo adecuado, puede efectuarse en un tiempo menor al requerido para estructuras conformadas por otros materiales convencionales.

3.2.1.2 Desventajas de usar el acero como material Estructural

A continuación, se enumera las desventajas y la forma de cómo minimizar su efecto en este proyecto:

3.2.1.2.1 Corrosión

Se proveerá de recomendaciones para la protección de los elementos de acero estructural.

3.2.1.2.2 Vibración

Se dice que las estructuras de acero vibran demasiado. En lo que se refiere a la mayor sensibilidad de las personas a las vibraciones y aún cuando estas circulen sobre vehículos sobre estructuras metálicas, este aspecto se soluciona con un diseño adecuado, ya que además de satisfacerse las condiciones de seguridad, se necesita cumplir con requisitos de servicio, funcionamiento y confort con base en los reglamentos vigentes.

3.2.1.2.3 Mayor calidad de Supervisión

La supervisión de una estructura de acero se inicia desde el diseño de la misma, la concepción estructural permitirá determinar el grado de dificultad que habrá en las etapas de fabricación y montaje. La supervisión tiene mucha importancia durante el

proceso de fabricación, desde la recepción de la materia prima (placas, perfiles comerciales, etc.), corte, enderezado, armado, soldadura, pintura, etc., pues la mayor parte de trabajo de la obra de acero se efectúa en el taller de fabricación, quedando un porcentaje menor del trabajo para la etapa del montaje. En esta memoria se hará recomendaciones para el control de calidad de las estructuras de acero estructural y así minimizar errores constructivos.

3.2.2 Hormigón armado y Hormigón pretensado

3.2.2.1 Hormigón armado

Resistencia del concreto

$f'c1 = 400\text{Kg/cm}^2$, $f'c2 = 500\text{Kg/cm}^2$. Resistencia a la compresión a los 28 días.

La capacidad teórica en los elementos de una estructura se reduce por un factor conocido como de reducción de capacidad " ϕ ". Este coeficiente sirve para prevenir las posibles variaciones en la resistencia del material ($f'c$) en la mano de obra y en las dimensiones dentro de los límites permisibles (A.C.I. 318-05).

El módulo de elasticidad del concreto se obtuvo de la siguiente ecuación:

$$E_c = 15000\sqrt{f'c} \text{ kg/cm}^2 = 15000\sqrt{400} = 300,000 \text{ kg/cm}^2 = 29.42 \text{ GPA}$$

$$E_c = 15000\sqrt{500} = 335,410.20 \text{ kg/cm}^2 = 32.89 \text{ GPA}$$

Tomando en cuenta que las condiciones al fabricar el concreto este resulta ser mezclado de manera mecánica, siendo proporcional al peso, contenido de humedad de los agregados, el factor de reducción de capacidad será:

Flexión en concreto reforzado considerando o no la tensión axial:	0.85
Flexo compresión armado con estribo.....	0.70
Cortante y Torsión:	0.75
Aplastamiento en concreto.....	0.65

Resistencia de acero de refuerzo

$f_y = 4.200\text{Kg/cm}^2$. (Límite de fluencia).

En el caso del acero se tomó como módulo de elasticidad

$E_s = 2100000\text{kg/cm}^2$

3.2.2.2 Hormigón pretensado

El hormigón para ser considerado como pretensado su resistencia no debe ser menor de $f'_c = 280\text{ Kg/cm}^2$, ya que la mayor resistencia a la compresión contribuye a menores pérdidas por deformación del mismo.

Con altas resistencias se consigue:

Minimizar costos, esto debido a que los anclajes empleados para el acero del pretensado requieren de altas resistencias.

El concreto de alta resistencia a la compresión ofrece una mayor resistencia a la tensión y el cortante, así como también tiene buen comportamiento a la adherencia y al empuje.

Resulta estar menos expuesto a las grietas por contracción que aparecen frecuentemente en el concreto de baja resistencia antes de la aplicación del presfuerzo (Arroyo, 2012).

Lo referente al acero de aleación que se emplea en el hormigón pretensado, existen diferentes tipos de tendones, alambres redondos estirados en frío, cables trenzados y varillas. La alta resistencia del acero se debe a las fuertes fuerzas de pretensado.

Grado 250							
Diámetro Nominal		Resistencia a la Ruptura		Área Nominal del Cable		Carga mínima - Eongacion del 1%	
(in)	(mm)	(lb)	(kg)	(in ²)	(mm ²)	(lb)	(kg)
0,250	6,350	9,000	4,082	0,036	23,220	7,650	3,469
0,313	7,940	14,500	6,577	0,058	37,420	12,300	5,579
0,375	9,530	20,000	9,071	0,080	51,610	17,000	7,711
0,430	11,110	27,000	12,246	0,108	69,680	23,000	10,432
0,500	12,700	36,000	16,329	0,144	92,900	30,600	13,879
0,600	15,240	54,000	24,493	0,216	139,350	45,900	20,819
Grado 270							
Diámetro Nominal		Resistencia a la Ruptura		Área Nominal del Cable		Carga mínima - Eongacion del 1%	
(in)	(mm)	(lb)	(kg)	(in ²)	(mm ²)	(lb)	(kg)
0,375	9,530	23,000	10,432	0,085	54,840	19,550	8,867
0,438	11,110	31,000	14,061	0,115	74,190	26,350	11,952
0,500	12,700	41,300	18,733	0,153	98,710	35,100	15,921
0,600	15,240	58,600	26,580	0,217	140,000	49,800	22,588

Tabla 3-2 Propiedades de cables más usados en elementos pretensados (H. Nilson 1990)

3.2.3 Geopolímero reforzado con fibras GFRP 40 y GFRP 50

Resistencia de los geopolímeros **GFRP 40: 400 Kg/cm², GFRP 50: 500 Kg/cm²**

El módulo de elasticidad del Geopolímero se obtuvo de la siguiente ecuación (Mangadhoddi & Rao, 2018) :

$$E = [4.26 * f'c^2 - 111.74 * f'c + 10365]10^{-3} \text{ GPa}$$

Donde $f'c$ es la resistencia a la compresión a los 28 días, el módulo de young es menor en GFRP 40-50 que en OPC 40-50.

$$E_{\text{OPC}(40\text{MPa})} = 29.42 \text{ GPa}$$

$$E_{\text{OPC}(50\text{MPa})} = 32.89 \text{ GPa}$$

$$E_{\text{GFRP}(40\text{MPa})} = 12.71 \text{ GPa}$$

$$E_{\text{GPC}(50\text{MPa})} = 15.43 \text{ GPa}$$

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 Introducción

Con la finalidad de solucionar los problemas de transporte público de la ciudad de Guayaquil se están desarrollando cada vez nuevos proyectos viales. La finalidad del presente estudio es la de proporcionar soluciones de acceso (Pasos Peatonales) para los peatones y en particular en esta parte del estudio se trata de las soluciones de carácter estructural y ambiental de los pasos peatonales.

Una vez definida la alternativa estructural para el paso peatonal, se procede a realizar los análisis y diseños respectivos para esta alternativa, para las estructuras adicionales (Rampas, Pasarela perpendicular a paso, Rampas circulares y escaleras) no se realizará el análisis, solo nos centraremos en la pasarela principal.

El análisis se realizó tomando en cuenta 3 materiales para su construcción, el hormigón armado (más común empleado en la construcción de pasos peatonales actualmente en la ciudad), la estructura metálica (que cada vez tiene más acogida en la construcción) y los geopolímeros reforzados con fibra (material poco conocido y empleado en el país actualmente).

4.2 Paso peatonal tipo viga losa de estructura metálica

4.2.1 Arreglo Estructural

Para el diseño de los elementos y las conexiones de acero se utilizará las combinaciones de carga del Método de Factores de Carga y Resistencia (AISI – LRFD 1993) y el Manual LRFD para estructuras con elementos de Secciones Tubulares (SHSS – LRFD 2000).

El criterio llamado “Método de Factores de Carga y Resistencia” (L.R.F.D.) incorpora los conceptos probabilísticos a la determinación de las solicitaciones y resistencias de las secciones.

Para el respectivo análisis y diseño de los elementos de nuestra estructura se pretende seguir los siguientes pasos:

1. Estimar las cargas de servicio, las cuales son cargas muertas y cargas vivas que se aplicarán en cada elemento de la estructura. Así mismo se estimará la carga y el peso sísmico.
2. Con las dimensiones de la estructura la cual está conformada por una pasarela de longitud 38.50 m y un ancho 2.00 m, podremos determinar la demanda y las deformaciones.
3. Teniendo las longitudes y dimensiones de los materiales de los elementos estructurales procedemos a ingresar los datos en un programa de análisis estructural SAP2000 de la familia de programas del CSI (Computers & Structures), el cual utiliza el método de rigidez y elementos finitos para resolver estructuras determinadas e indeterminadas.
4. Después de modelar la estructura se procede a correr el programa con el fin de obtener las deflexiones, relaciones demanda capacidad, diagrama de momento axial y diagrama de momentos, debido a los diferentes tipos de esfuerzos que se ejercen sobre el paso peatonal.
5. Y por último se realizará la comparación y comprobación de los resultados revisando que todo cumpla las normas.

4.2.2 Descripción de los materiales

La estructura estará constituida por elementos de estructura metálica A36, más comunes encontrados en las obras de puentes peatonales en la ciudad de Guayaquil.

El sistema de piso consistirá en perfiles tubulares laminados al frío:

- Sistema principal viga, en toda la longitud de la pasarela, constituida de tubería de diámetro 120 mm y de espesor 3 mm.
- Sistema secundario vigas, a lo ancho de la pasarela, constituida de tubería de diámetro 100 mm y de espesor 3 mm
- Sistema de piso, plancha de acero de 10 mm de espesor.
- Sistema de pasamanos, con tubo de diámetro 160 mm y de espesor 7 mm.

Asumiendo que el piso es infinitamente rígido; esto es, todos los nudos del piso se desplazan la misma cantidad, se debe definir diafragmas rígidos en el modelo del software SAP.

4.2.3 Determinación de Cargas

A continuación, se detallan las cargas consideradas:

4.2.3.1 Cargas Vivas

Tabla 4-1. Cargas vivas para la pasarela metálica

CARGAS VIVAS	
Descripción	Kg/m²
Carga viva peatonal	420

Para el diseño por cargas verticales se tomó en cuenta la totalidad de las cargas vivas.

En el diseño sísmico se consideró la mitad de la carga viva.

En el caso de la cimentación se consideró el 100% de la carga viva.

4.2.3.2 Cargas Muertas

Las cargas muertas incluirán el peso de todos los elementos no estructurales, tales como, superficies de rodadura, barandas, tuberías y ductos.

4.2.3.3 Peso Propio de los Elementos.

Tabla 4-2. Peso propio de los elementos estructurales.

PESO PROPIO	
Descripción	Kg/ m³
Acero	7850

4.2.3.4 Cargas Sísmicas

Para el cálculo de las cargas sísmicas, se considerará el tipo de suelo, el coeficiente de respuesta sísmica elástico. El coeficiente de respuesta sísmica inelástico según el tipo de estructura y los factores de irregularidad.

- Espectro elástico, para un coeficiente de amortiguamiento igual al 5% del crítico.
- Para la aceleración en roca, $A_a = 0.35$ g.
- Coeficiente de importancia, $I = 1$
- Para el espectro de respuesta elástica de diseño, $S = 1.5$

4.3 Paso peatonal tipo viga losa de hormigón pretensado OPC

Se emplean actualmente dos procedimientos de diseño para estos elementos, el primero es el método de la resistencia el cual emplea factores independientes para cada carga y factores para la resistencia nominal del elemento. La condición

fundamental es diseñar de acuerdo con el estado límite último, pero chequear con el estado límite de servicio. Dentro de sus beneficios se cuenta que considera la variabilidad en las cargas y en la resistencia de los materiales. Este es bastante usado en diseño de hormigón armado y acero.

El otro procedimiento es el método de los esfuerzos de trabajo. Emplea esfuerzos admisibles, comúnmente con un factor de seguridad que oscila en un rango de 1.8 y 2.2. El esfuerzo último del concreto se multiplica por un valor que puede ser menor o igual 0.45 para obtener el esfuerzo admisible de diseño, mientras que el esfuerzo de ausencia en el acero se multiplica por un factor recomendado menor o igual a 0.55 para obtener como resultado el esfuerzo permisible del acero. Bajo tales circunstancias, el factor de seguridad para el concreto es mayor o igual a 2.2 y el del acero mayor o igual a 1.8. En este método las cargas de diseño no se mayoran y presenta la inhabilidad para considerar variaciones por tipo e intensidad de carga, así como variaciones en la resistencia de los materiales.

4.3.1 Tensiones al momento del tensado

Tensión normal de compresión < o igual a $0.6 f'_{ci}$

tensión de tracción < o igual a $\frac{1}{4} \sqrt{f'_{ci}}$

tensión de tracción en extremos simplemente apoyados < o igual a $\frac{1}{4} \sqrt{f'_{ci}}$

Donde f'_{ci} es la resistencia del hormigón en el momento del tensado.

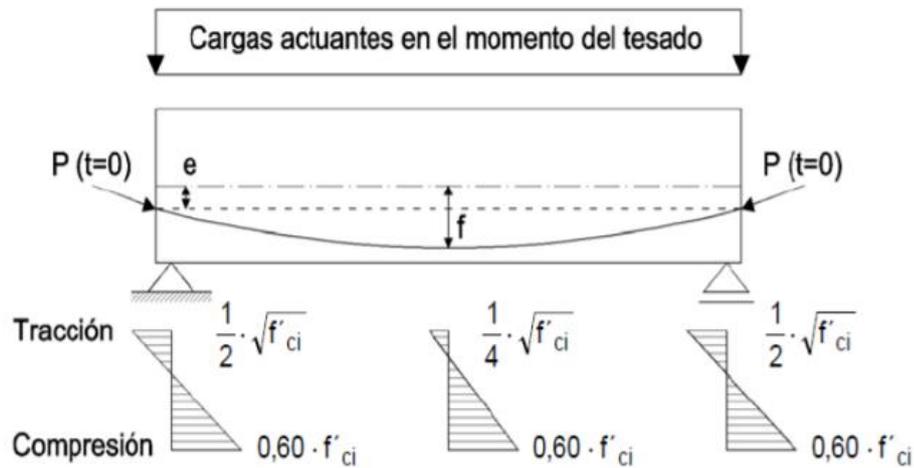


Figura 4-1 Momento del tesado, (Arroyo, 2012)

Tensiones bajo carga de servicios

Denominado etapa del servicio; van desde un valor mínimo denominado “carga de larga duración” y uno máximo “carga total”

Se requiere:

Tensión normal de compresión debida al pretensado más cargas de larga duración $<$ o igual $0.45f'_{ci}$

Tensión normal de compresión debido al pretensado más la carga total $<$ o igual $0.6 f'_{ci}$

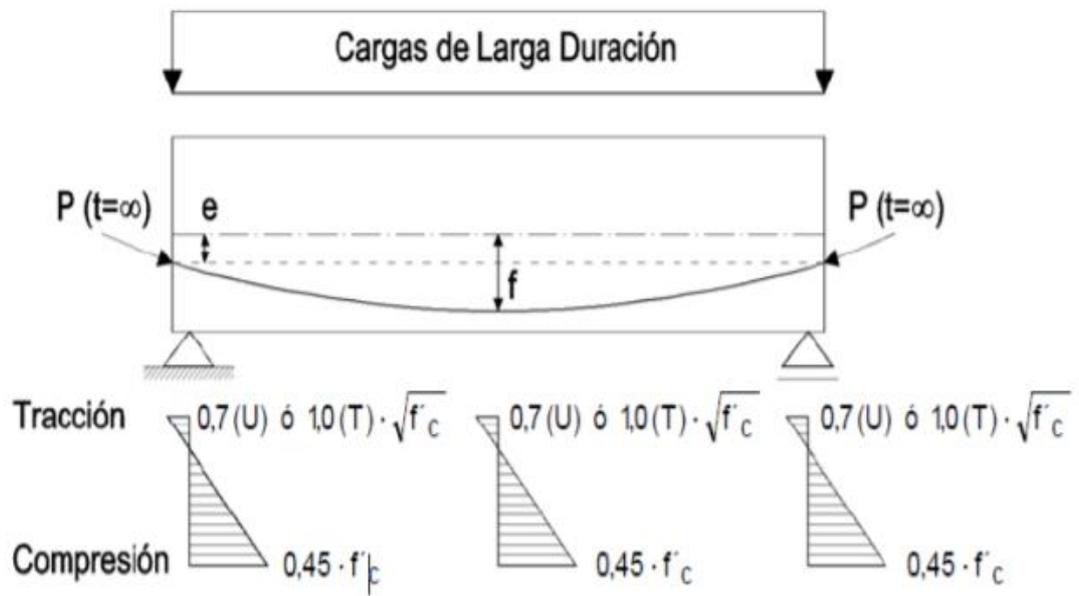


Figura 4-2 Momento cargas de servicio, (Arroyo, 2012)

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1 Modelado en SAP, análisis estructural

Para realizar el análisis del comportamiento estructural de los 3 materiales seleccionados empleamos SAP, ingresando cargas, espectros, propiedades de los materiales, es importante conocer para un caso puntual el tipo de suelo y espectro del sector a utilizarse.

5.1.1 Paso peatonal de estructura metálica

5.1.1.1 Relaciones demanda capacidad

En las memorias de calculo se emplea muy usualmente el termino relacion Demanda/Capacidad (D/C), refiriendose a la demanda como las fuerzas que inciden sobre los elementos de analisis, y por capacidad, a la resistencia asociada a las solicitudes por compresion, traccion, etc.

Con esta comprobacion revisamos que tan cercano se encuentra el elemento metalico de exceder su capacidad, si $D/C > 1$ significa que el elemento se lo sometera a demandas mayores a la que es capaz de soportar, siendo las dimensiones de sus materiales insuficientes.

En la figura 5.1 podemos observar que los elementos se encuentran por debajo del 1%, comprobando que las dimensiones de los elementos son las suficientes para las cargas que se les aplica.

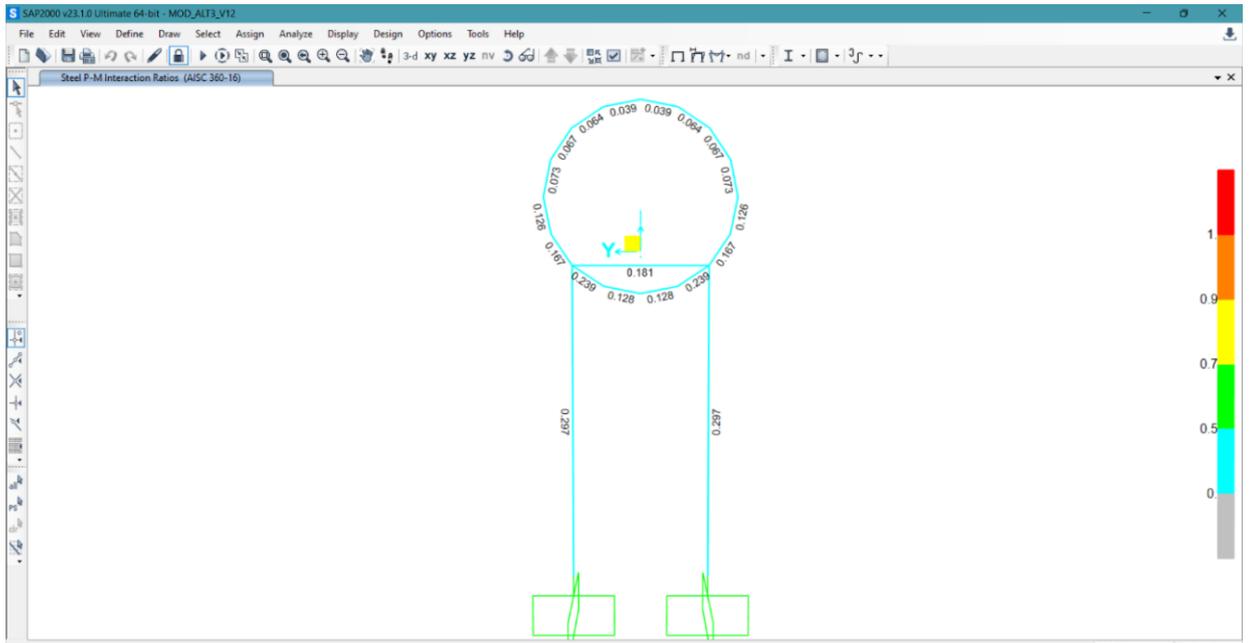


Figura 5-1 Diagrama Demanda/Capacidad en vista en corte de la pasarela del puente peatonal, Programa Sap200.

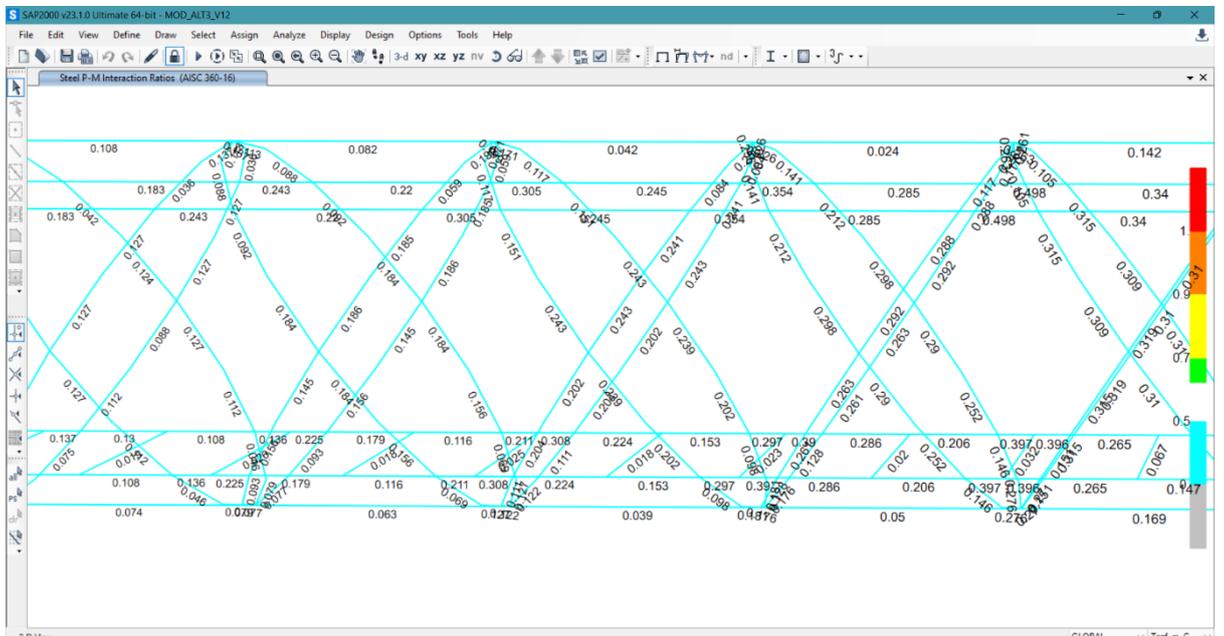


Figura 5-2 Diagrama Demanda/Capacidad en vista Lateral de la pasarela metálica, Programa Sap200.

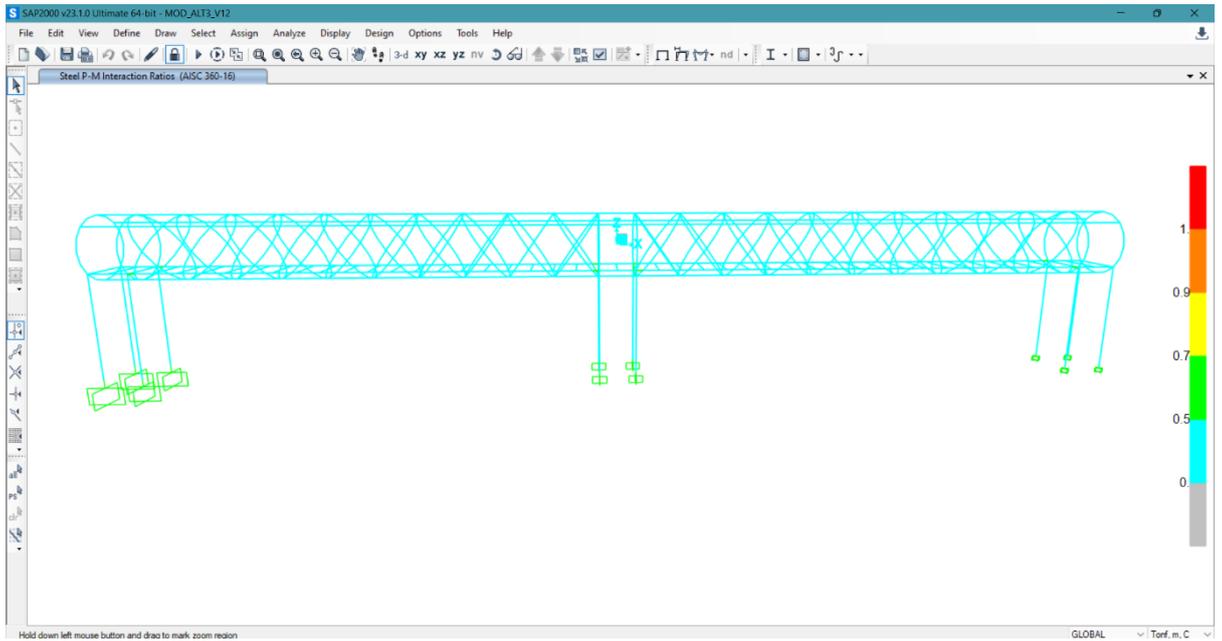


Figura 5-3 Diagrama Demanda/Capacidad en vista en 3D de la pasarela metálica, Programa Sap200.

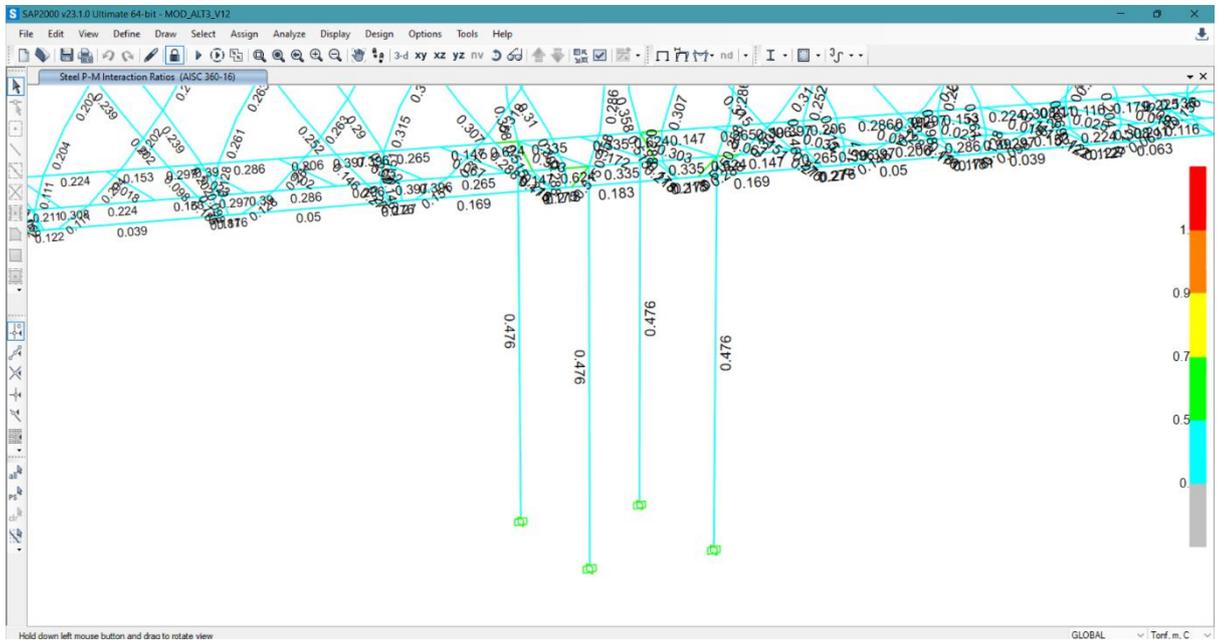


Figura 5-4 Diagrama Demanda/Capacidad en vista 3D de la pila central de la pasarela metálica, Programa Sap200.

5.1.1.2 Deflexiones

Cuando un elemento estructural está sometida a un conjunto de cargas, esta tiende a deformarse, a este fenómeno se lo conoce como deflexión. Para los diferentes proyectos, se establecen límites máximos de deflexión que pueden sufrir los elementos, al estar sometidos bajo la influencia de una carga.

La limitación típica, se basa en la deflexión bajo la carga viva de servicio, y el criterio es: Deflexión permisible $L/240 = 38.50/240 = 16.04$ cm

Deflexión actual máxima del SAP2000: 10.2 cm; **cumple**

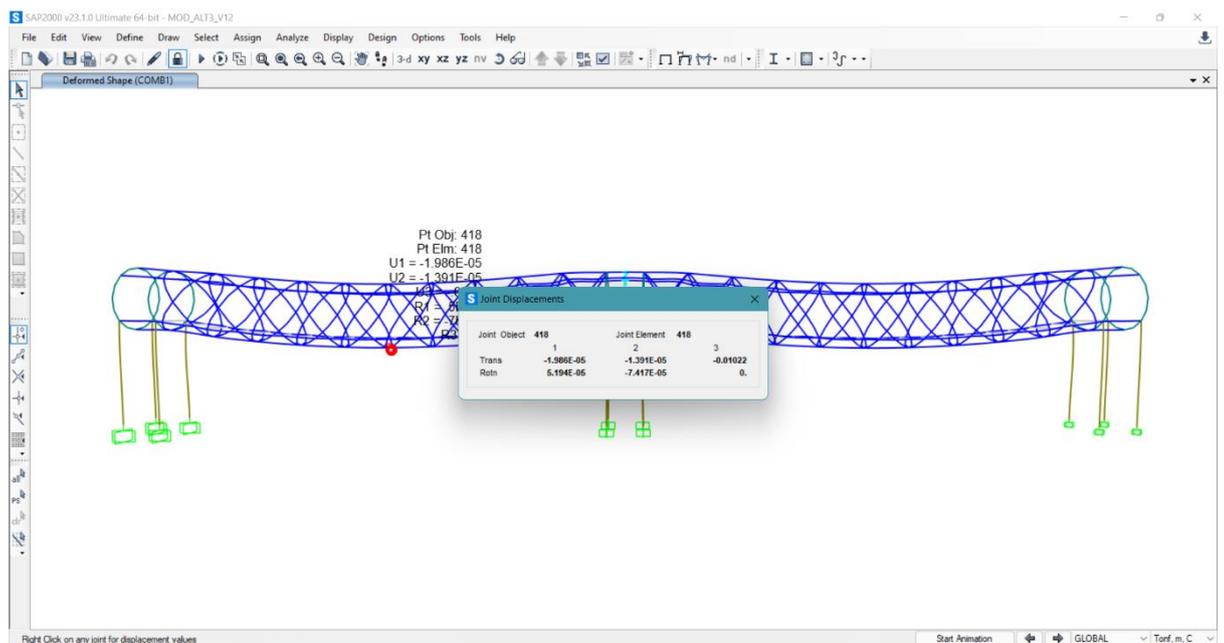


Figura 5-5 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela metálica, Programa Sap200.

5.1.1.3 Diagramas de carga axial

El diagrama de fuerza axial, o cortante es una gráfica que nos muestra la magnitud de la fuerza cortante a la que están sometidos los elementos estructurales. En la figura 5.6 se puede observar, que la mayor demanda de carga axial, la tienen los elementos tubulares del tipo columna pila.

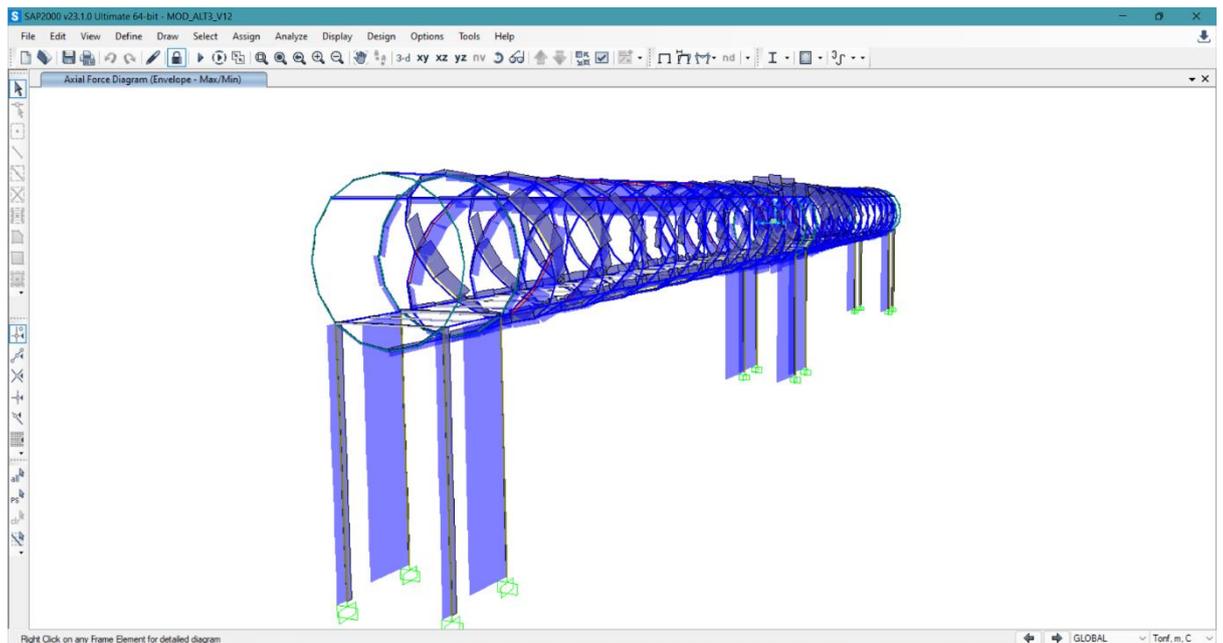


Figura 5-6 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela metálica, Programa Sap200.

5.1.1.4 Diagramas de momento

En el diagrama de momento, se representa de manera grafica la magnitud del momento flexionante a través del elemento estructural, el cual está sometido a un conjunto de cargas transversales.

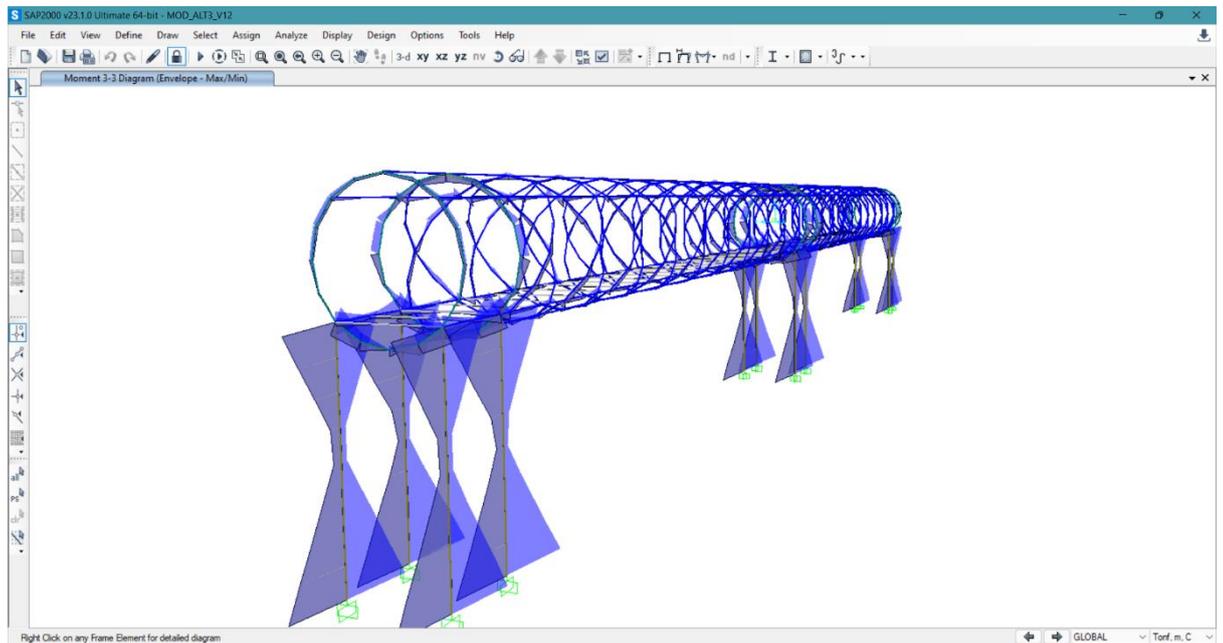


Figura 5-7 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela metálica, Programa Sap2000.

5.1.2 Paso peatonal de hormigón armado OPC 40 y OPC 50

OPC 40

5.1.2.1 Deflexiones

La limitación típica, se basa en la deflexión bajo la carga viva de servicio, y el criterio es: Deflexión permisible $L/240 = 38.50/240 = 16.04$ cm

Deflexión actual máxima del SAP2000: 10.5 cm; **cumple**

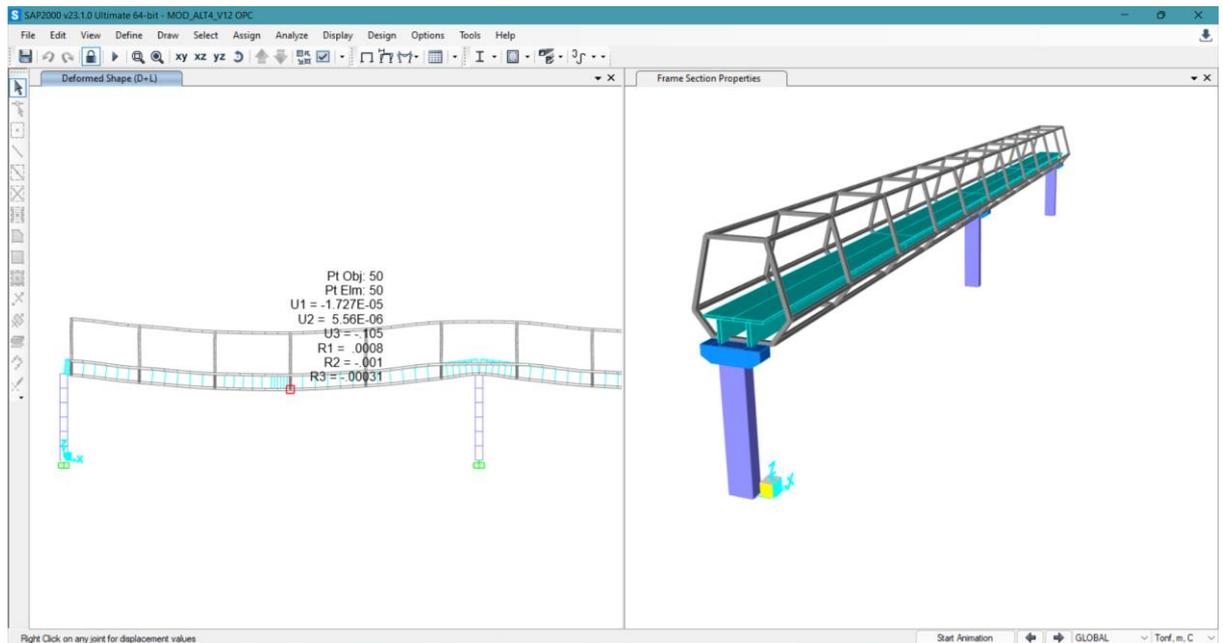


Figura 5-8 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap200.

5.1.2.2 Diagramas de carga axial

El diagrama de fuerza axial, o cortante es una gráfica que nos muestra la magnitud de la fuerza cortante a la que están sometidos los elementos estructurales. En la figura 5.6 se puede observar, que la mayor demanda de carga axial es igual a 23.79 tonf, y esta se presenta en la viga doble T soportada por los pilares.

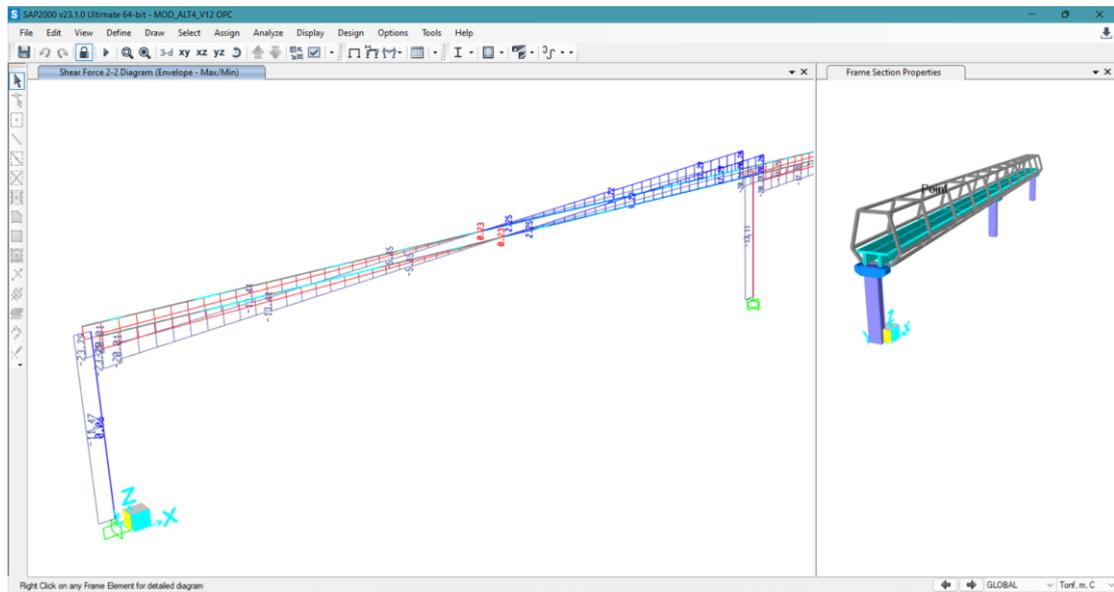


Figura 5-9 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap200.

5.1.2.3 Diagramas de momento

En el diagrama de momento, se representa de manera grafica la magnitud del momento flexionante a través de los elementos vigas doble T, el cual está sometido a un conjunto de cargas transversales, el mayor momento es igual a 140.43 tonf*m.

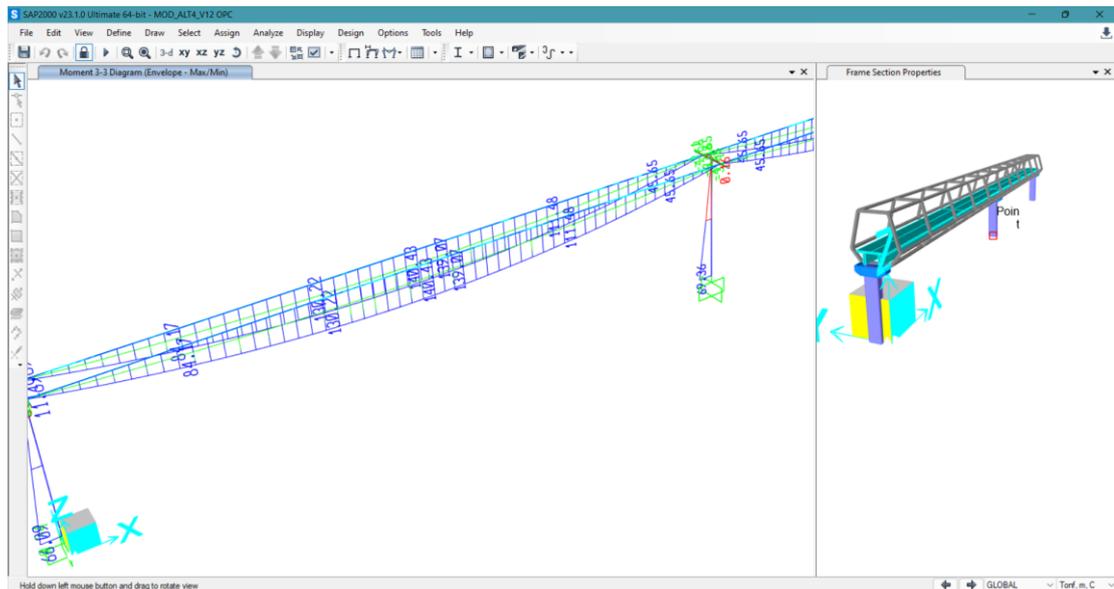


Figura 5-10 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap2000.

OPC 50

5.1.2.4 Deflexiones

La limitación típica, se basa en la deflexión bajo la carga viva de servicio, y el criterio es: Deflexión permisible $L/240 = 38.50/240 = 16.04$ cm

Deflexión actual máxima del SAP2000: 2.41 cm; **cumple**

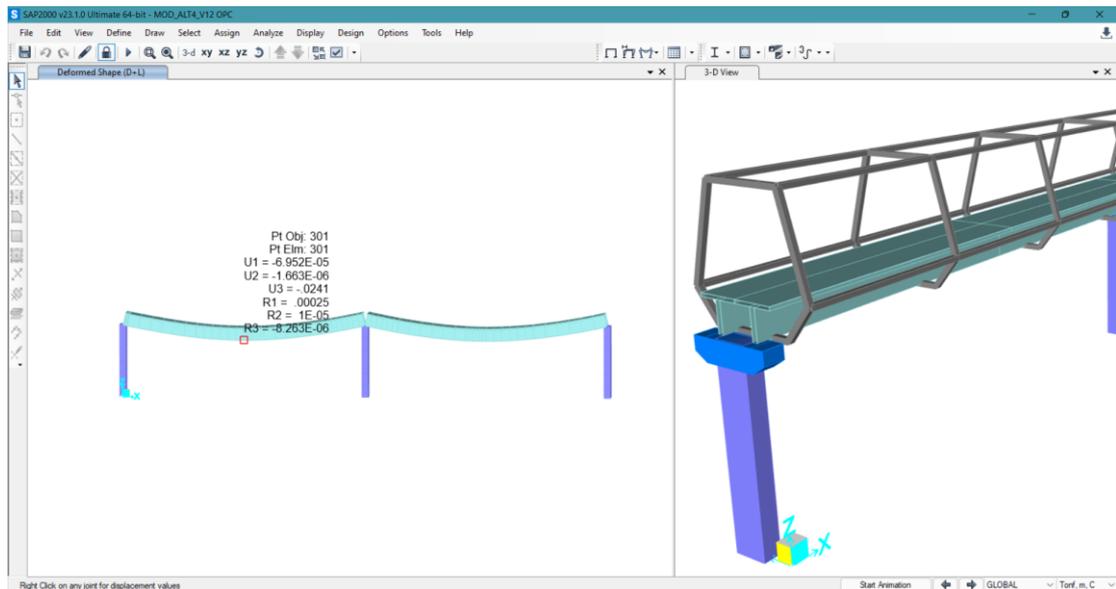


Figura 5-11 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de hormigón pretensado OPC50, Programa Sap200.

5.1.2.5 Diagramas de carga axial

El diagrama de fuerza axial, o cortante es una gráfica que nos muestra la magnitud de la fuerza cortante a la que están sometidos los elementos estructurales. En la figura 5.12 se puede observar, que la mayor demanda de carga axial es igual a 15.7 tonf, y esta se presenta en la viga doble T soportada por los pilares.

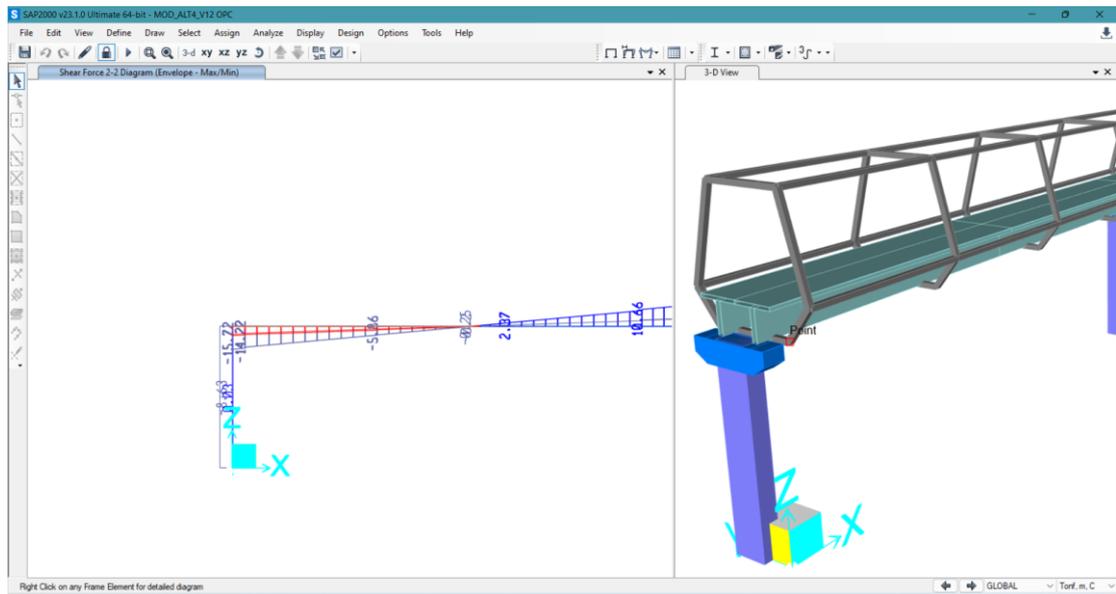


Figura 5-12 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC40, Programa Sap200.

5.1.2.6 Diagramas de momento

En el diagrama de momento, se representa de manera grafica la magnitud del momento flexionante a través de los elementos vigas doble T, el cual está sometido a un conjunto de cargas transversales, el mayor momento es igual a 72.74 tonf*m.

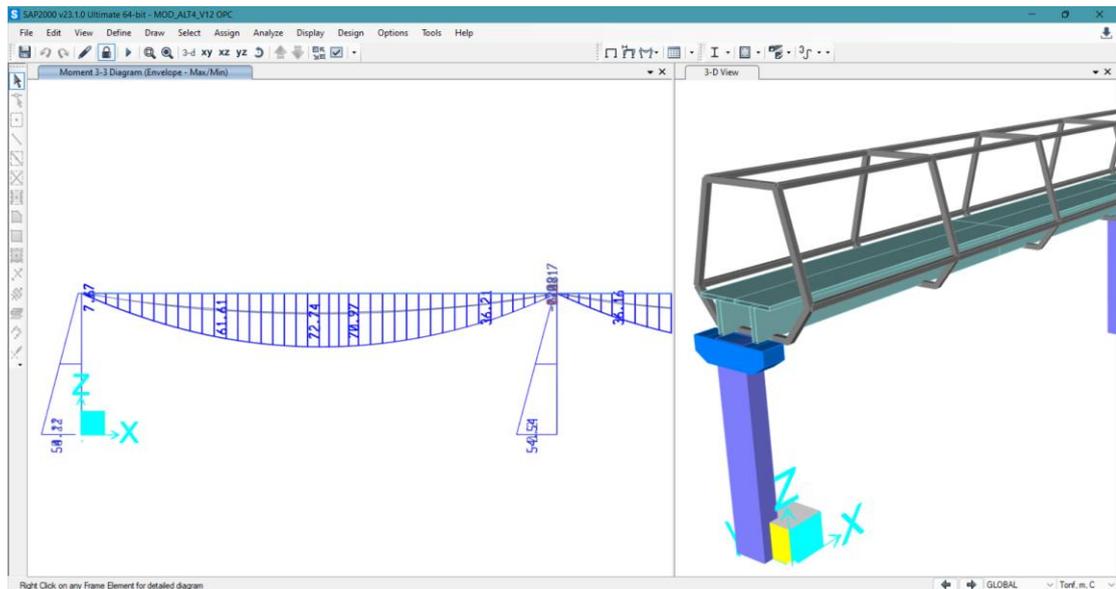


Figura 5-13 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de hormigón pretensado OPC50, Programa Sap2000.

5.1.3 Paso peatonal de Geopolímero reforzado con fibras metálicas GFRP40 y GFRP50.

GFRP 40

5.1.3.1 Deflexiones

La limitación típica, se basa en la deflexión bajo la carga viva de servicio, y el criterio es: Deflexión permisible $L/240 = 38.50/240 = 16.04$ cm

Deflexión actual máxima del SAP2000: 19.32 cm; **No cumple**

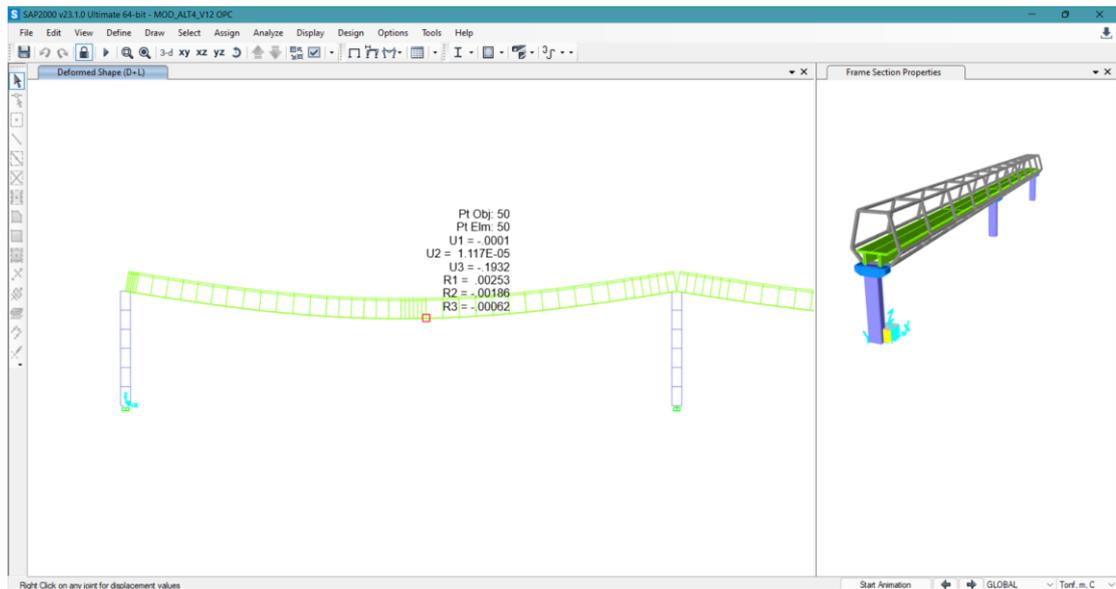


Figura 5-14 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP40, Programa Sap2000.

5.1.3.2 Diagramas de carga axial

El diagrama de fuerza axial, o cortante es una gráfica que nos muestra la magnitud de la fuerza cortante a la que están sometidos los elementos estructurales. En la figura 5.6 se puede observar, que la mayor demanda de carga axial es igual a 23.68 tonf, y esta se presenta en la viga doble T soportada por los pilares.

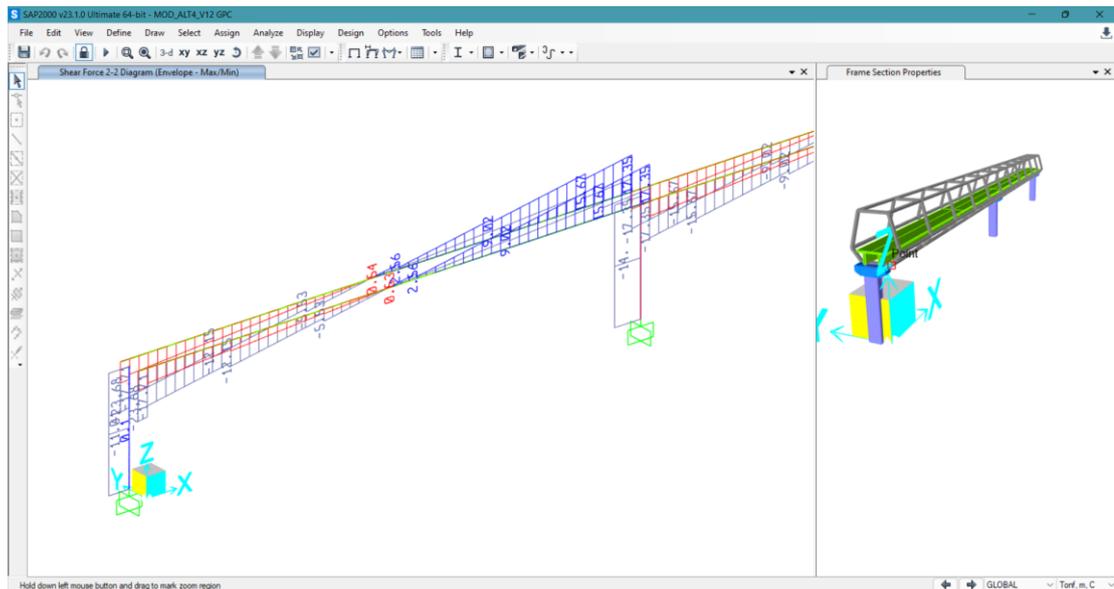


Figura 5-15 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP40, Programa Sap200.

5.1.3.3 Diagramas de momento

En el diagrama de momento, se representa de manera grafica la magnitud del momento flexionante a través de los elementos vigas doble T, el cual está sometido a un conjunto de cargas transversales, el mayor momento es igual a 120.6 tonf*m.

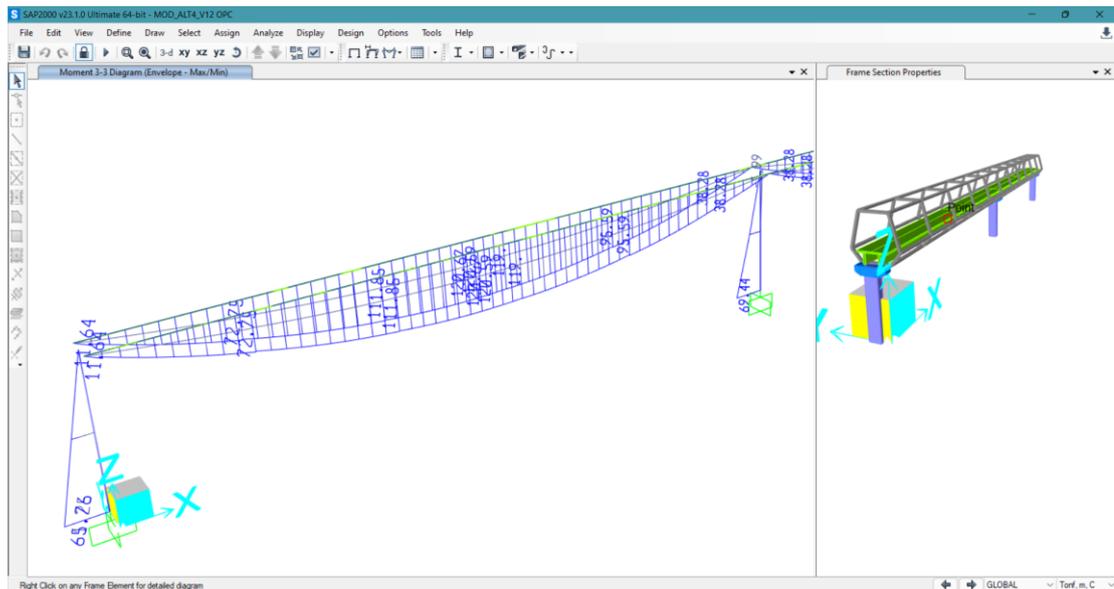


Figura 5-16 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP40, Programa Sap200.

GFRP 50

5.1.3.4 Deflexiones

La limitación típica, se basa en la deflexión bajo la carga viva de servicio, y el criterio es: Deflexión permisible $L/240 = 38.50/240 = 16.04$ cm

Deflexión actual máxima del SAP2000: 4.9 cm; **cumple**

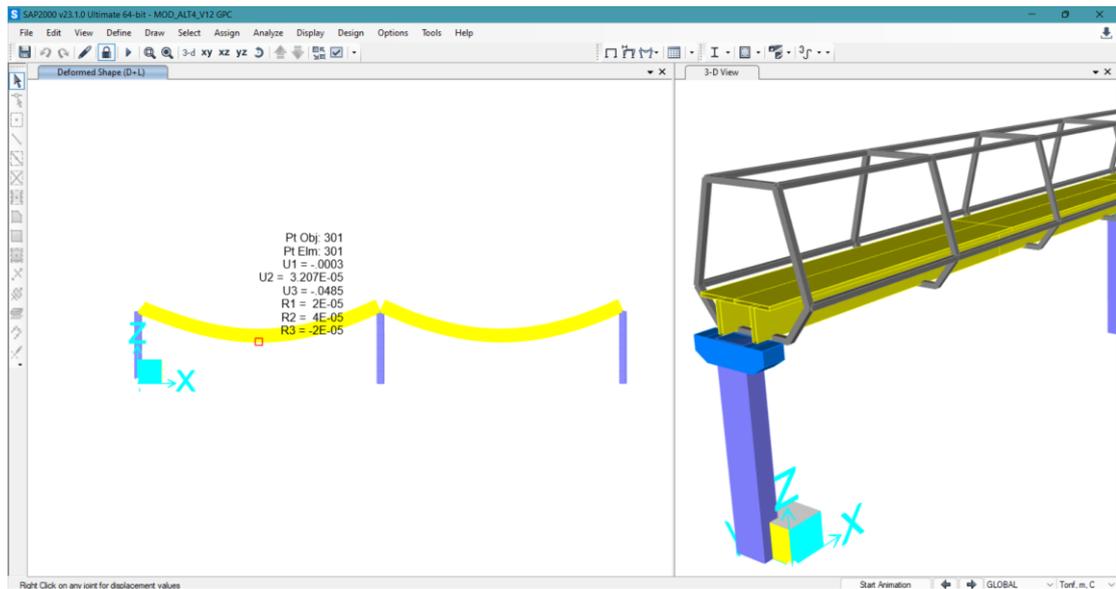


Figura 5-17 Deflexiones máximas en los nodos de la pasarela de vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.

5.1.3.5 Diagramas de carga axial

El diagrama de fuerza axial, o cortante es una gráfica que nos muestra la magnitud de la fuerza cortante a la que están sometidos los elementos estructurales. En la figura 5.6 se puede observar, que la mayor demanda de carga axial es igual a 15.7 tonf, y esta se presenta en la viga doble T soportada por los pilares.

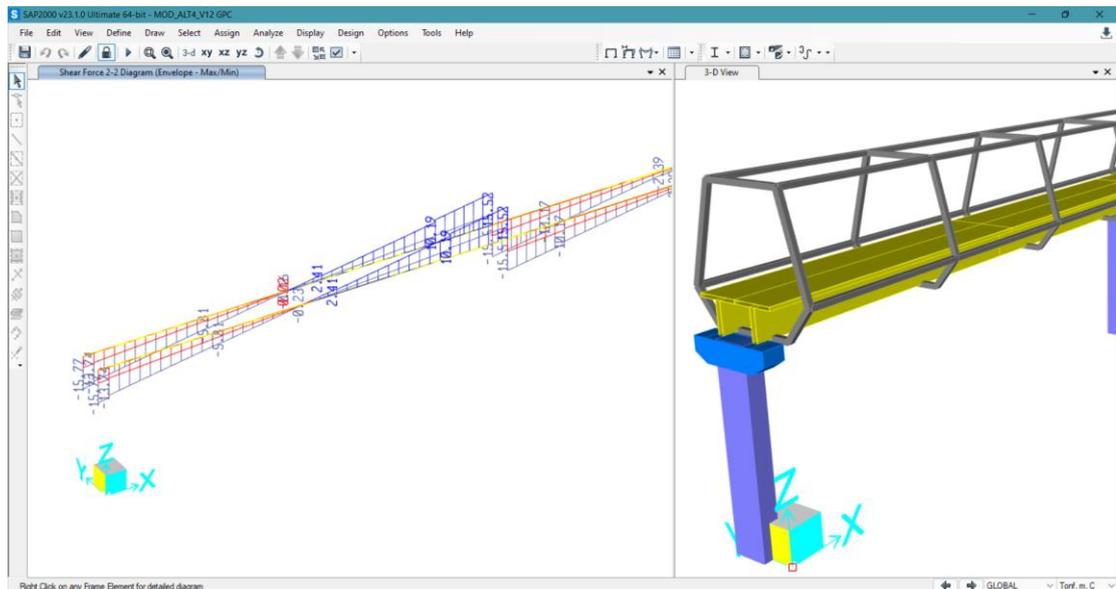


Figura 5-18 Diagrama de cortantes a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.

5.1.3.6 Diagramas de momento

En el diagrama de momento, se representa de manera grafica la magnitud del momento flexionante a través de los elementos vigas doble T, el cual está sometido a un conjunto de cargas transversales, el mayor momento es igual a 70.39 tonf*m.

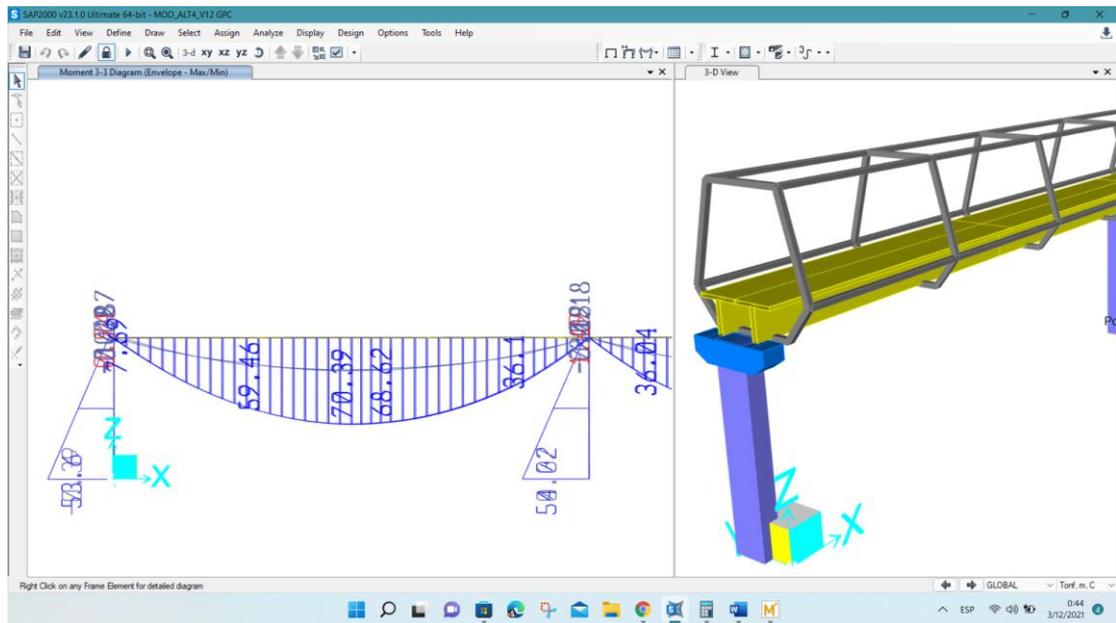


Figura 5-19 Diagrama de momentos a lo largo de la pasarela vigas de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.

5.1.3.7 Relaciones demanda capacidad

La capacidad a momento es la misma tanto para la viga con material OPC50 como para el material GFRP50, dado a que poseen la misma resistencia a la compresión, siendo ésta de 212.1 Tonf*m

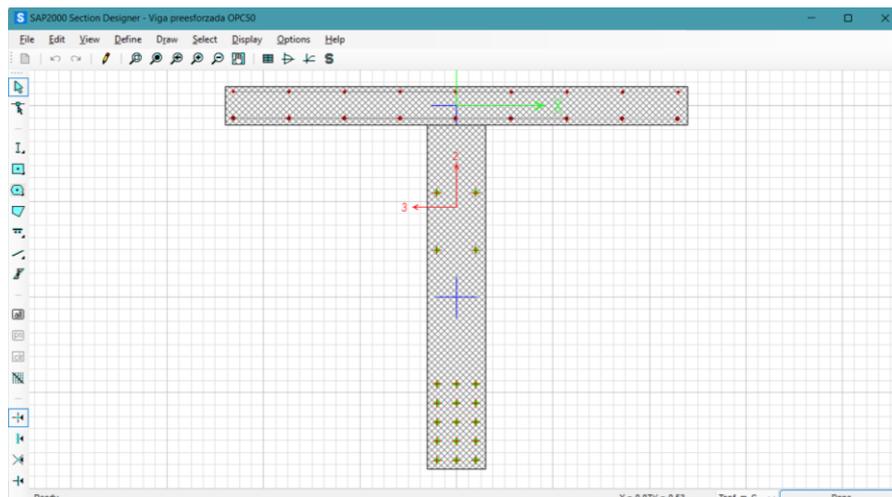


Figura 5-20 Sección de la viga doble T de Geopolímero reforzado con fibra metálica GFRP50, Programa Sap200.

Las relaciones demanda – capacidad para cada material considerando la demanda última de momento es:

- OPC50: $72.74/212.1=0.343$
- GFRP50: $70.39/212.1=0.332$

Se puede concluir que la relación D/C menor es la más eficiente, como en el caso del GFRP50. Esto puede ser más notorio para estructuras más grandes donde la diferencia entre las demandas por material sea más notable.

Dado a que el módulo elástico en el GFRP 40 es menor al OPC 40, se posee una menor rigidez en los elementos hechos con este material, dando así mayores deformaciones, que puede ser perjudicial si sobrepasamos los límites, pero a la vez generando menores demandas de cargas axiales y momentos, lo cual puede ser una ventaja si se considera que ambos materiales brindan una misma resistencia.

Se realizó el análisis para una resistencia de GFRP 50, podemos notar que, aunque el módulo de elasticidad es menor al OPC50, cumple por deflexión, muy por debajo del valor límite, y mantiene valores menores en la demanda por cargas axiales y momentos.

5.2 Modelado en Revit, análisis de costo

Para el análisis de las cantidades a emplearse en la construcción de los 3 diferentes pasos peatonales, realizamos la modelación de este con la ayuda del programa Revit para el cálculo de las áreas y volúmenes. Para este análisis comparativo nos centraremos en la pasarela central del paso peatonal únicamente.

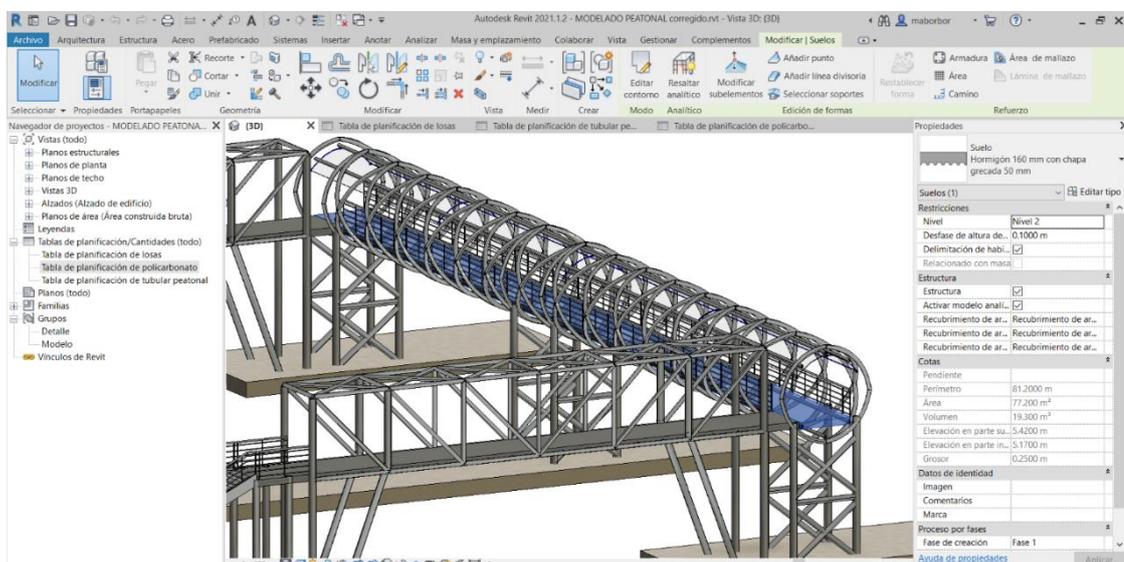


Figura 5-21 Área y volumen del paso peatonal de estructura metálica realizado en Revit

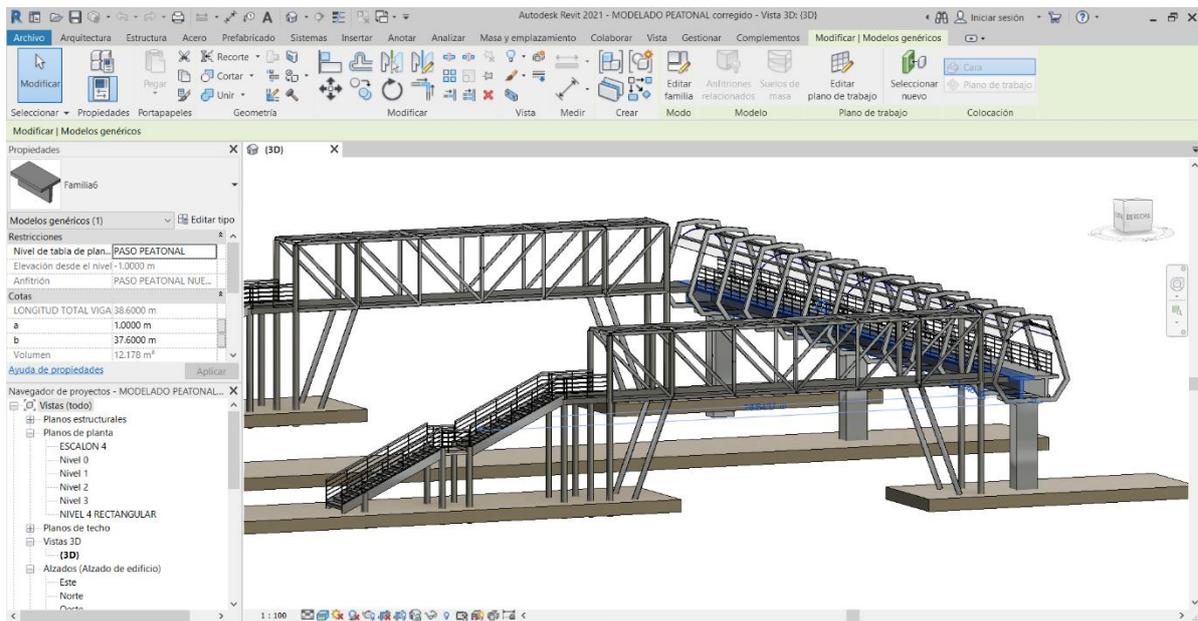


Figura 5-22 Paso peatonal de hormigón en Revit

5.2.1 Paso peatonal de estructura metálica

En el caso del paso peatonal construido con la estructura metálica como su elemento principal consideramos para la pasarela principal una plancha metálica de $e=10$ mm que cumple la función de piso, misma que se encuentra apoyada en tubería de $\varnothing 120$ y $\varnothing 100$ de espesor $e=3$ mm ubicados longitudinal y transversalmente a lo largo de los 38.50m de pasarela.

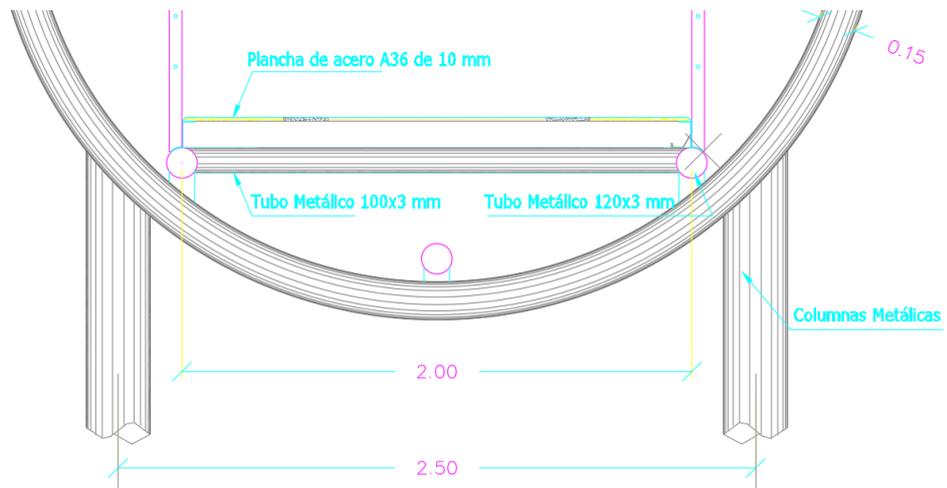


Figura 5-23 Detalle y dimensiones de los materiales en el puente peatonal, empleados en el programa Revit.



Figura 5-24 Ejemplo a nuestro modelo el paso peatonal a la altura del Terminal Terrestre Pascuales previo a su montaje.

 Reiproacero <small>IMPORTADORA DE PRODUCTOS DE ACERO</small>		
DIMENSIÓN	ESPESOR(mm)	PESO KG POR UNIDAD
1.22mtx2.44mt	2.00mm	46,73
1.22mtx2.44mt	3.00mm	70,10
1.22mtx2.44mt	4.00mm	93,47
1.22mtx2.44mt	6.00mm	140,20
1.22mtx2.44mt	8.00mm	186,94
1.22mtx2.44mt	10.00mm	233,68
1.22mtx2.44mt	12.00mm	280,41
1.22mtx2.44mt	15.00mm	350,51
1.22mtx2.44mt	18.00mm	420,62
1.22mtx2.44mt	24.00mm	560,82
1.22mtx2.44mt	30.00mm	701,03

Figura 5-25 Peso de la plancha metálica, Reiproacero.

Para la plancha del piso de 10 mm de espesor, su peso por

$$m^2 = \frac{233.68 \text{ kg}}{(1.22 * 2.44)m^2} = 78.50 \text{ kg/m}^2$$

Del cálculo de cantidades obtenido mediante el Revit la pasarela tiene un área de 77.20 m² según Figura 4.1.

$$77.20m^2 * \frac{78.50kg}{m^2} = 6060.20 \text{ kg}$$

3	76.2	5.00mm	6MT	52,68
4	101.6	2.00mm	6MT	29,46
4	101.6	3.00mm	6MT	43,74
4	101.6	4.00mm	6MT	57,78
4	101.6	5.00mm	6MT	71,46
4	101.6	6.00mm	6MT	84,90
5	127	2.00mm	6MT	37,02
5	127	3.00mm	6MT	55,02
5	127	4.00mm	6MT	72,78
5	127	5.00mm	6MT	90,24
5	127	6.00mm	6MT	107,40

Figura 5-26 Peso de la tubería de 100 mm y 120 mm en 3mm, Reiproacero.

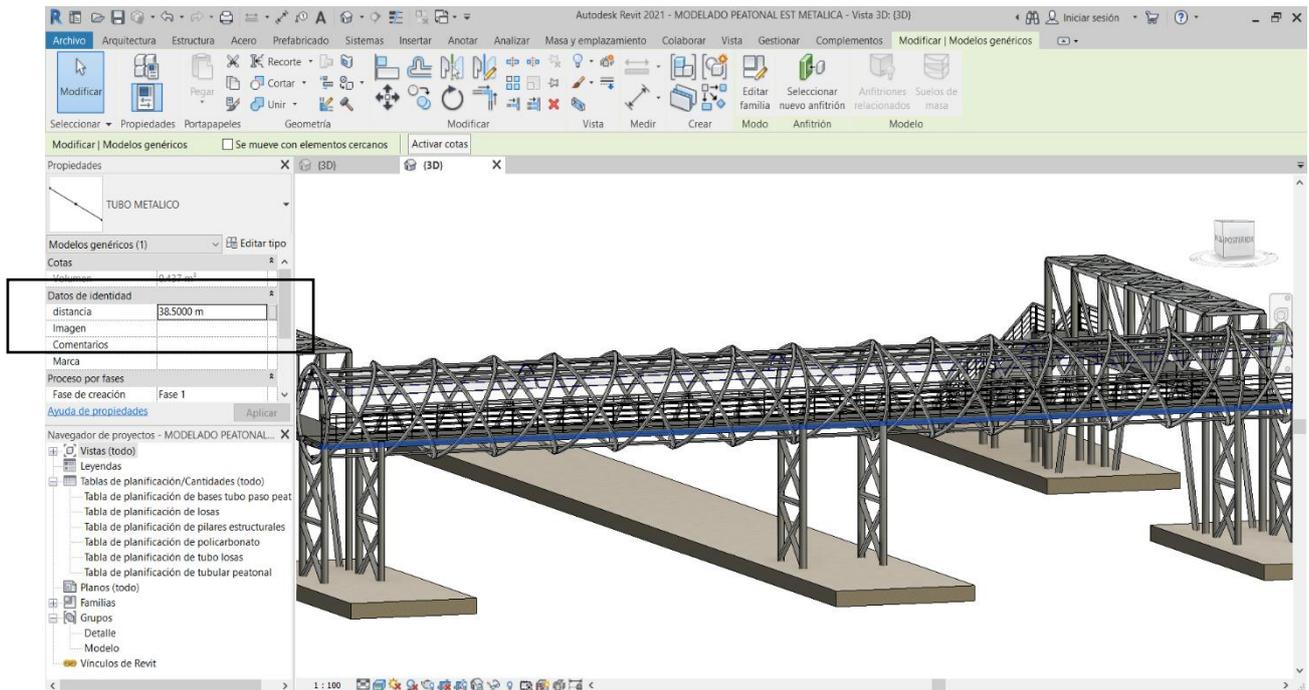


Figura 5-27 Longitud del paso peatonal igual a 38.50m, autores.

Para la tubería de 120mm en 3mm son 3 líneas = $(38.50 \cdot 3) = 115.50$ m

Para el cálculo del peso tenemos de la Figura 4.4 el peso por unidad de 6 m

$$\frac{55.02}{6} = 9.17 \text{ kg/m}$$

$$115.50 \cdot 9.17 \text{ kg/m} = \mathbf{1059.14 \text{ kg}}$$

Para la tubería de 100mm en 3mm son tramos de 2.00m cada 1.00m según Figura 4.2.

$$38.50/1.00 = 39 \text{ unidades}$$

$$39 \cdot 2.00 = 78 \text{ m}$$

Para el cálculo del peso tenemos de la Figura 4.4 el peso del tubo por unidad, en longitud comercial de 6 m.

$$\frac{43.74 \text{ kg}}{6 \text{ m}} = 7.29 \text{ kg/m}$$

$$78 * 7.29/m = 568.62 \text{ kg}$$

Total de Kilos para la pasarela del paso de estructura metálica = 7687.96 kg

Tabla 5-1 Presupuesto referencial, M.I.Municipalidad de Guayaquil

No.	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
36	9.3C BALDOSA ANTIDESLIZANTE DE PIEDRA CALIZA (40X40)CM TIPO AMPOLLA	m2	10	36,53000	365,30000
37	610-(1)1A BORDILLO CUNETETA F'C= 280 KG/CM2	m	30	28,92000	867,60000
38	6.1 ESTRUCTURA METÁLICA A36 INC MONTAJE	Kg	500	3,44000	1.720,00000

Valor referencial del kilo de estructura metálica \$3.44.

Total de gastos **\$26,446.58.**

5.2.2 Paso peatonal de hormigón armado

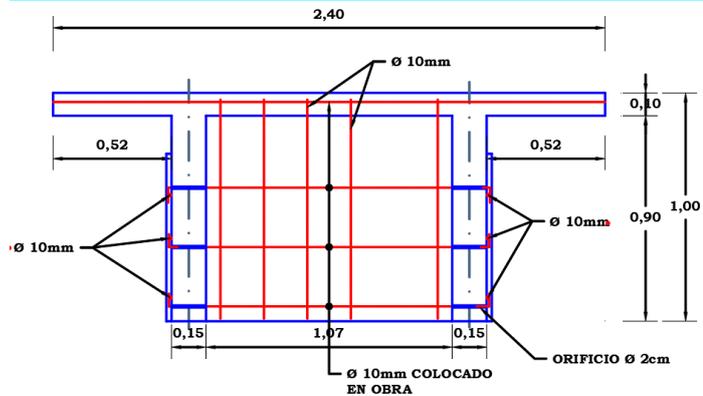
Para el paso peatonal de hormigón se trabajó con una longitud similar al anterior, es decir L= 38.50m. Las vigas doble t máximo son fabricadas en longitudes de 36.00m, por lo cual para nuestro paso peatonal en estudio se considerarán dos vigas doble t de 19.20m de longitud cada una.



Figura 5-28 Vigas doble t de 19.20m cada una, autores.

DETALLE DE DIAFRAGMA

ESCALA: 1----20



ELEVACION LATERAL

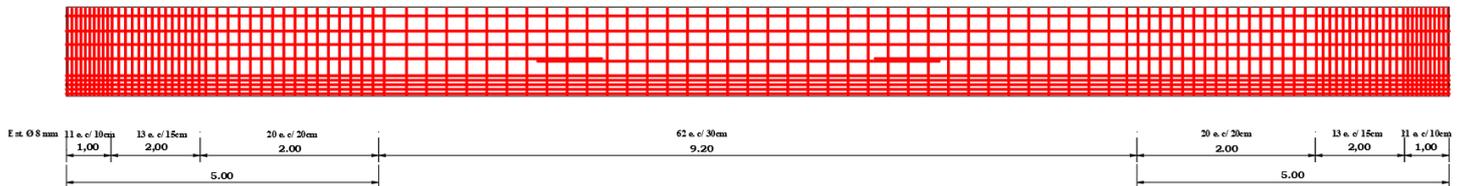


Figura 5-29 Detalles del armado en vigas doble t, autores.

Luego de tener las dimensiones de la pasarela, empleando Revit obtenemos el volumen de las vigas doble t.

A	B	C	D
Familia	Familia y tipo	LONGITUD TOTAL	Volumen
Familia6	Familia6: Familia6	38.60 m	12.18 m³
Familia6	Familia6: Familia6	38.60 m	12.18 m³

Figura 5-30 Volumen de vigas doble t, autores.

El volumen total de las vigas doble t empleadas en la pasarela principal del paso peatonal es de $12.18m^3 + 12.18m^3 = 24.36m^3$.

Tabla 5-2 Cotización del costo de viga doble t, mavis

Vigas Tipo Doble T; Pretensada para <u>PASO PEATONAL</u> f'c = 500 kg/cm ² , longitud=19.20 m, Dimensiones: Altura = 0.66 m; Ancho= 1,62 m; (Diseño MAVISA)	u	3	\$ 6.600.00	\$ 19.800.00
--	---	---	-------------	--------------

El valor de una viga doble t de 19.20m de largo es de \$6600.00.

Total de gastos x 2u empleadas en pasarela= **\$13200.**

5.2.3 Paso peatonal de geopolímero reforzado con fibras metálicas GFRP

Para el paso peatonal construido a base de GFRP, se considera un diseño similar al de hormigón, con el mismo sistema de vigas doble t, con la variación en el costo debido a la variación del cemento por el geopolímero GRRP.

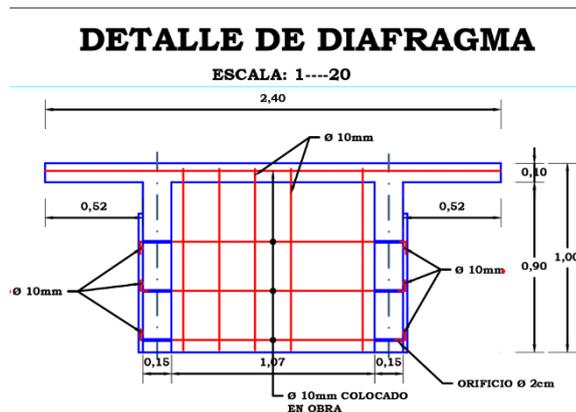


Figura 5-31 Detalle de vigas doble t de 19.20m, autores.

Dentro de la investigación se indica que para resistencias mayores el geopolímero reforzado con fibras tiende a disminuir su costo de producción en comparación a los del OPC, como es el caso del grado 50 (500kgf/cm²), donde indica que el GFRP es **un 11%** más económico que el concreto portland ordinario (Janardhanan, 2016).

Para el cálculo del costo de la pasarela principal construida a base de GFRP tuvimos la siguiente consideración:

Para este análisis el aporte del acero de refuerzo y torones será despreciable con respecto a la influencia del hormigón debido a que este, el hormigón es el material predominante en el diseño.

Total de gastos x 2u de doble t empleadas en pasarela de hormigón pretensado= **\$13,200 * 0.11(% de reducción) = \$1,452**

Total de gastos x 2u empleadas en pasarela con GFRP=\$13,200-\$1452=
Total= **\$11,748.00.**

5.3 Comparación de resultados

Para nuestro estudio comparativo entre el acero estructural, hormigón y GFRP se llevaron a cabo 3 análisis: el ciclo de vida de cada material enfocado a su % de contaminación, específicamente toneladas de CO₂ y en consumo de energía en su producción (Joules).

Para el desempeño estructural se analizaron principalmente la deflexión y la relación demanda/capacidad de cada paso peatonal para determinar si cumplían con los parámetros mínimos.

Y finalmente para el análisis de costo se selecciono la pasarela principal de cada paso peatonal y se cotizaron precios del mercado a la actualidad.

Para presentar los resultados obtenidos en el análisis comparativo empleamos el siguiente cuadro:

Tabla 5-3 Cuadro comparativo de resultados, autores

MATERIALES	CICLO DE VIDA		DESEMPEÑO ESTRUCTURAL		ANALISIS DE COSTO
	CO2(TON)	ENERGIA (J)	DEFLEXION	DEMANDA/CAPACIDAD	DOLARES AMERICANOS
ACERO ESTRUCTURAL	27%	19%	CUMPLE	CUMPLE	\$ 26.446,58
HORMIGON	7%	5%	CUMPLE	CUMPLE	\$ 13.200,00
GEOPOLIMERO REFORZADO CON FIBRA	5%	4%	CUMPLE	CUMPLE	\$ 11.748,00

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1 CONCLUSIONES

CICLO DE VIDA

- El acero estructural reflejó un 27% de toneladas de CO₂ y consumo de energía del 19% en su etapa de producción.
- El hormigón presentó un 7% de Ton de CO₂ y un 5% de consumo de energía.
- El GFRP, medido en toneladas de CO₂ con un 5% y consumo de energía del 4% (Joules) fue el material más idóneo de los 3 analizados debido a sus bajos porcentajes.

DESEMPEÑO ESTRUCTURAL

- El acero estructural cumple con los parámetros de demanda-capacidad al estar debajo del 1%, siendo la máxima 0.239, en deflexión presenta una capacidad de deformarse de 10.2 cm, dentro del rango permisible de deformación de la pasarela del paso peatonal de 16.04 cm.
- Para el hormigón se hicieron 2 análisis, a una resistencia de OPC40 de 40MPA y OPC50 de 50 MPA, OPC40 en deflexión presenta una capacidad de deformarse de 10.5 cm, OPC50 en deflexión presenta una capacidad de deformarse de 2.41 cm, ambos dentro del rango permisible de deformación de la pasarela del paso peatonal de 16.04 cm.
- Para el Geopolímero reforzado con fibras se hicieron 2 análisis, a una resistencia de GFRP40 de 40MPA y GFRP50 de 50 MPA, GFRP40 en deflexión presenta una capacidad de deformarse de 19.32 cm, GFRP50 en deflexión presenta una capacidad de deformarse de 4.9 cm, GFRP40 no se encuentra dentro del rango permisible de deformación de la pasarela del paso peatonal de 16.04 cm.

ANALISIS DE COSTO

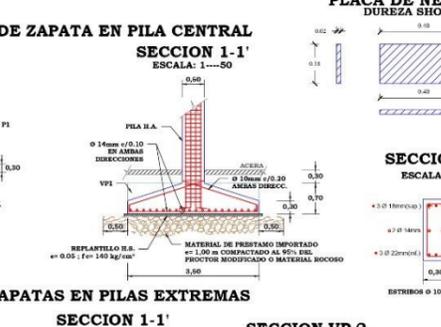
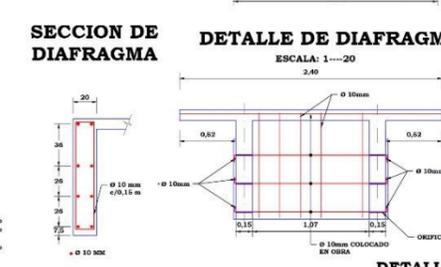
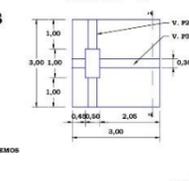
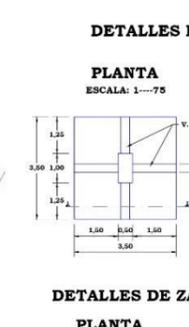
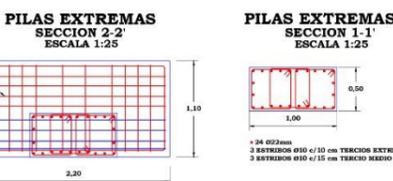
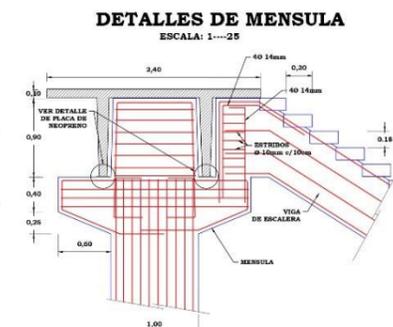
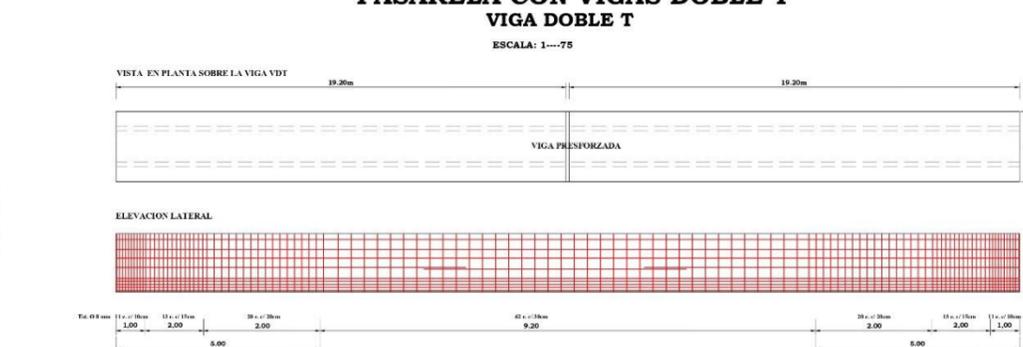
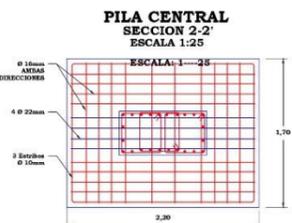
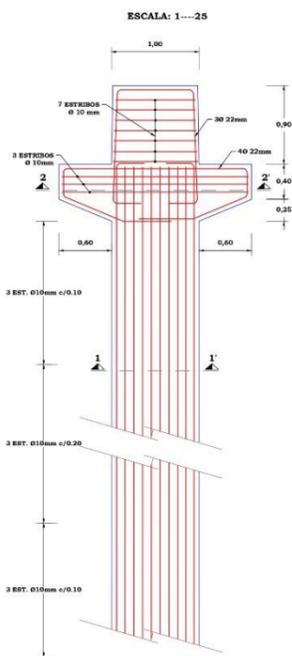
- El análisis de costo fue enfocado a la pasarela principal del paso peatonal siendo el construido a base de GFRP el más económico con un valor de \$11748.00 vs los de hormigón con un valor de \$13,200 y el de acero (mas elevado) de \$26,446.58.

6.2 TRABAJO FUTURO

- Para el presente trabajo nos centramos en el análisis de estos 3 materiales, estructura metálica, hormigón y GFRP en la construcción de pasos peatonales, se podría realizar el análisis con estructuras de mayor envergadura como lo son los puentes o grandes edificaciones.
- Para el análisis estructural, se podrían considerar pasos peatonales con mayores longitudes, y comprobar si el geopolímero mantiene una menor deformación con respecto al hormigón portland tradicional.
- Se podrían incluir otros materiales que contribuyan al desarrollo sostenible como los nanocompuestos polímeros.

ANEXO A: PLANOS

SECCION DE PILAS



ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO

MATERIALES	
CONCRETO	RESISTENCIA A LA COMPRESION (28 DÍAS): INC. INFERIOR DE CORROSION
ACERO DE REFUERZO	RESISTENCIA A LA TRACCION (28 DÍAS): INC. INFERIOR DE CORROSION
ACERO ESTRUCTURAL	RESISTENCIA A LA TRACCION (28 DÍAS): INC. INFERIOR DE CORROSION

SISTEMA DE PROTECCION ANTICORROSIVA

SISTEMA DE PROTECCION ANTICORROSIVA

1- IMPERMEABILIZACION

2- REVESTIMIENTO EPÓXICO 4515, 200 MICRONES.

3- CAPA DE ACABADO DE PINTURA EPOXI, 50 MICRONES, BIL.

NOTA: SE DEBERA RESPETAR LOS TIEMPOS DE CURADO ESPECIFICADOS POR EL FABRICANTE.

NOTAS:

1- PARA TODOS LOS ELEMENTOS METÁLICOS, EL CONTRATISTA PREPARARÁ LOS PLANOS DE SOLDADURA DEBIDAMENTE FIRMADOS POR EL INGENIERO RESPONSABLE DEL DISEÑO.

2- LA COMBINACION DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LOS TIEMPOS EXISTENTES EN TALLER, PREVIAMENTE CALIFICADO, EN BOLSAS CON CEMENTO DEBEN SER APROPIADOS POR EL PROYECTANTE, LOS PLANOS DE TALLER Y LA COMBINACION DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEBEN APROPIADOS POR EL PROYECTANTE Y LA SUPERVISORIA MUNICIPAL.

3- EL CONTRATISTA DEBERÁ SOMETER A LA APROBACION DE LA PROYECTANTE Y SUPERVISORIA MUNICIPAL, LA METODOLOGIA DE MONTEAJE EN OBRA DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS Y SUS ACTUACIONES CORRECTIVAS, DE TAL FORMA QUE SE GARANTEN LAS CONDICIONES DE COMBINACION PARA EL MONTEAJE ESTRUCTURAL, EN ESPECIAL LA DE LAS CONEXIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DE APoyo VERTICALES (COLUMNAS) Y LOS ELEMENTOS LONGITUDINALES (VIGAS Y BARRAS).

4- LAS DIMENSIONES Y CANTIDADES PARA LA MEDICACION DE LA OBRA SON HORIZONTALES Y VERTICALES SIN VERTICIDAD Y ADAPTADAS A LAS CONDICIONES PARTICULARES DEL SITIO.

NOTAS GENERALES DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

RESISTENCIA A LA COMPRESION A 28 DÍAS DE CURADO EN BOLSAS

RESISTENCIA A LA TRACCION A 28 DÍAS DE CURADO EN BOLSAS

RESISTENCIA A LA TRACCION A 28 DÍAS DE CURADO EN BOLSAS

ACERO DE PRESFUERZO

CUMPLIR LA ESPECIFICACIONES DE ASTM A-421 Y FUNDAMENTOS DE ACERO DE PRESFUERZO

RESISTENCIA A LA TRACCION A 28 DÍAS DE CURADO EN BOLSAS

RESISTENCIA A LA TRACCION A 28 DÍAS DE CURADO EN BOLSAS

RESISTENCIA A LA TRACCION A 28 DÍAS DE CURADO EN BOLSAS

MOLDES

LOS MOLDES PARA EL COLOCADO DE LOS ELEMENTOS DEBEN SER REUTILIZABLES.

EL DESMOLDE DEBEN SER REALIZADO DESPUES DE 3 DÍAS DE CURADO EN BOLSAS.

EN LOS CASOS DONDE SE REUTILICEN LOS MOLDES EN OTRAS OBRAS DEBEN SER REUTILIZADOS EN LAS MISMAS CONDICIONES DE CURADO EN BOLSAS.

LOS MOLDES DEBEN SER REUTILIZADOS EN LAS MISMAS CONDICIONES DE CURADO EN BOLSAS.

DIMENSIONES

LOS DIAMETROS DE LOS TORONES Y DE LAS BARRAS ESTAN DADAS EN CM.

LAS DEMAS DIMENSIONES Y VOLUMENES EN CM.

CARGA DE DISEÑO

CARGA VIVA = 800 kg/m²

espol Escuela Superior Politécnica del Litoral

PROYECTO DE GRADUACION

MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL CON MENCION EN CONSTRUCCION Y SANITAMIENTO

ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION DE PUERTOS PRETENSADOS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, PROVINCIA DEL GUAYAS, ECUADOR.

PROYECTANTE: [Nombre]

REVISADO POR: [Nombre]

APROBADO POR: [Nombre]

BIBLIOGRAFÍA

- Acebo, M. (2016). *Industria de la Construcción*. 1–39. <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones-de-espae/>
- Arroyo, D. (2012). *Hormigón Pretensado*. 79.
- ATM. (2019). *Noticias - ATM*. <https://www.atm.gob.ec/Show/NewDetails/572>
- Beek, V. & Ages, M. (2008). *Design of arch bridges*.
- Billington, P. N. (2021). *Bridge*. <https://www.britannica.com/technology/bridge-engineering>, [Accessed 13 November 2021].
- Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). Alkaline activation of different aluminosilicates as an alternative to Portland cement: Alkali activated cements or geopolymers. *Revista Ingenieria de Construccion*, 32, 5–12.
- Constructalia. (2019). *Acero en la construcción: Análisis de Ciclo de Vida y Módulo D*. <https://constructalia.arcelormittal.com/es/noticias/articulos-tecnicos/analisis-de-ciclo-de-vida-y-modulo-d>
- Daniel Duque. (2014). *Ciclo de vida del concreto: Análisis | ARGOS 360*. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ciclo-de-vida-del-concretoconcrete-sustainability-conference>
- De Carvalho Filho, A. C. (2001). *Cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios*. Universidad Politécnica de Cataluña, 1–317.
- De, N. E., & Construcción, L. A. (2015). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*.
- Diario El Universo. (2020). *El crecimiento poblacional de Guayaquil está ligado a su dinamismo comercial | Comunidad | Guayaquil | El Universo*. <https://www.eluniverso.com/guayaquil/2020/08/08/nota/7935072/poblacion-guayaquil-crecimiento-comercio-independencia/>
- Díaz Suárez, S. A. (2018). *Desarrollo de un procedimiento para la elaboración de geopolímeros optimizados*.
- Dimopoulou, D., & Khoshkhou, N. (2015). *Pedestrian bridges of different materials - Comparison in terms of life cycle cost and life cycle assessment*.
- du béton, F., & Concrete, I. F. S. (2005). *Guidelines for the Design of Footbridges: Guide to Good Practice*. International Federation for Structural Concrete. <https://books.google.com.ec/books?id=UrDXtH1OfQgC>
- García-Segura, T., Yepes, V., & Alcalá, J. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), 3–12. <https://doi.org/10.1007/S11367-013-0614-0>
- García-Troncoso, N., Ruiz-Teran, A., & Stafford, P. J. (2020). Attenuation of pedestrian-induced vibrations in girder footbridges using tuned-mass dampers. *Advances in Bridge Engineering*, 1(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s43251-020-00013-8>
- HMB. (1999). “BEST AVAILABLE TECHNIQUES” FOR THE CEMENT INDUSTRY A contribution from the European Cement Industry to the exchange of information and preparation of the IPPC BAT REFERENCE Document for the cement industry. <http://www.cembureau.be>
- IEA. (2020). *Global CO2 emissions in 2019*. <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019>
- Ingeniería, E. (2020). *Ciclo de vida del ACERO: Un ciclo continuo, un ciclo sin fin. | Estahl*. <https://estahl.com.co/ciclo-vida-del-acero-ciclo-continuo-ciclo-sin-fin/>
- Janardhanan, T. (2016). *Comparative Study on the Production Cost of Geopolymer and Conventional Concretes*.

- International Journal of Civil Engineering Research, 7, 117–124.
- Jin, F., & Ye, L. (2011). Study on Dynamic Characteristics of Light-weight FRP Footbridge.
- Kramer, G. (2004). Slab, beam & girder bridges in Oregon. 105.
https://www.oregon.gov/ODOT/GeoEnvironmental/Docs_CulturalResource/SBG_Bridges_Oregon.pdf
- Mangadhoddi, V., & Rao, T. (2018). An Experimental Investigation of the Stress-Strain Behaviour of Geopolymer Concrete. Slovak Journal of Civil Engineering, 26, 30–34. <https://doi.org/10.2478/sjce-2018-0011>
- Mora Peris, P., Romay Díaz, M., Silva Segovia, S., & Herrero Hernangómez, C. (2008). El ciclo de vida del cemento. Un puente a la sostenibilidad en la construcción. Cemento-Hormigón, 79(915), 66–75.
- Provis, J. L., & Van Deventer, J. S. J. (2009). Geopolymers: structures, processing, properties and industrial applications. Elsevier.
- Puentestar, W. (2015). La problemática ambiental y el deterioro de los recursos naturales en el Ecuador, una perspectiva desde la geografía. [Tesis de Grado], febrero, 109. <https://bit.ly/33Vwen7>
- Quader, M. A., Ahmed, S., Ghazilla, R. A. R., Ahmed, S., & Dahari, M. (2015). A comprehensive review on energy efficient CO2 breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 594–614. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.05.026>
- Ranjbar, N., & Zhang, M. (2020). Fiber-reinforced geopolymer composites: A review. Cement and Concrete Composites, 107, 103498. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2019.103498>
- Rodriguez Hinostroza, M. K. (2019). Diseño de un puente tipo losa y un puente viga losa hasta 20m de luz, en el distrito de Chilca–2017.
- Romano, E., Cascini, L., D’Aniello, M., Portioli, F., & Landolfo, R. (2020). A simplified multi-performance approach to life-cycle assessment of steel structures. Structures, 27, 371–382. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2020.05.053>
- Shi, C., Roy, D., & Krivenko, P. (2003). Alkali-activated cements and concretes (1st ed.). CRC press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781482266900>
- Sosapanta Cristhian Eduardo Figueroa Bernal Alfer Justo, A. (2008). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA “ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO ENTRE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA Y HORMIGÓN ARMADO PARA EDIFICIOS” PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.
- Teemu Ahonen & Martina Jurigova. (2012). Slab bridges. <https://www.scribd.com/document/313186842/Slab-Bridge>
- UNE-EN 1992-2. (2005). Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 2: Puentes de hormigón. Reglas de diseño.
<https://books.google.com.ec/books?id=UrDXtH1OfQgC&lpg=PP90&pg=PP34#v=onepage&q&f=false>
- Vasani, P., & Bhoomika, P. M. (2003). Different types of bridges and its suitability. Applied Mechanics Department, LD College of Engineering, Ahmadabad. <https://www.sefindia.org/?q=system/files/bridges.pdf>
- Vascones, B., & Villena, N. (2018). La industria de la construcción: su participación en el PIB total del Ecuador durante el período 2012-2016. Revista Espacios, 39(16), 44. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n16/a18v39n16p44.pdf>
- Zhao, J., Tong, L., Li, B., Chen, T., Wang, C., Yang, G., & Zheng, Y. (2021). Eco-friendly geopolymer materials: A review of performance improvement, potential application and sustainability assessment. Journal of Cleaner Production, 307, 127085. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127085>