

*Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”  
Facultad de Ciencias Técnicas  
Departamento de construcciones*



**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil**

Análisis de modelos de pasarelas peatonales para Santa Marta-Varadero

**Autor: Laura Beatriz Rodríguez García**

**Tutor(es): Ing. Homero Morciego Esquivel**

**MSc. Alejandro Hernández Hernández  
Ing Annarelys Salas Navarro**

**Matanzas, 2020**

## **DEDICATORIA**

A mi padres Lidia María y Fidel Francisco, por hacer de mí una mejor persona, por acompañarme y apoyarme en mis sueños hasta el final.

A mi abuela, por su preocupación en todos los sentidos.

A mí novio Omar y su familia, por formar parte de mi vida, de mis proyectos y por toda la ayuda incondicional para cumplir mi sueño de ser ingeniera.

A mis tutores; por todo el tiempo y ayuda prestado.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, guías en mi vida, por haberme brindado más que su apoyo, por hacer de mi una persona integral.

A Omar Ortega, compañero de estudio y de vida.

A mis tutores y cotutores: Alejandro, Homero, Annarelys, y Reynaldo, por todo el apoyo y dedicación incondicional para lograr esta investigación.

A mis compañeros de estudio, en especial a Robert, Leonel, Raydel e Iván. Gracias por estar ahí y compartir momentos.

A mis profesores de la carrera en sentido general, que durante 5 años me han hecho avanzar en el camino que he decidido seguir. Un agradecimiento especial a Alejandro, Annarelys, Reynaldo, Manuel, Juan Carlos y Javier.

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declare que Laura Beatriz Rodríguez García soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Miembros del Tribunal:**

_____	_____	_____
<b>Presidente</b>	<b>Secretario</b>	<b>Vocal</b>

## RESUMEN

El crecimiento económico actual y futuro en el triángulo Matanzas- Varadero- Cárdenas; produce incrementos en los viajes atraídos y generados, escenario que la solución actual de las vías no satisface adecuadamente. Varias tesis reflejan la necesidad de añadir un carril por sentido de circulación para el flujo principal (Cárdenas-Varadero), lo que genera una longitud de cruce mayor en una zona de alto flujo peatonal, condicionada por el Instituto Preuniversitario Martin Klein, las paradas de ómnibus de Cárdenas y Varadero, el Servi-centro Oro Negro y la piquera con destino a Matanzas. Mediante un análisis previo a la investigación, se ha identificado la propuesta de pasarela peatonal elevada como una variante aplicable para solucionar el problema actual. Para este estudio se realiza el análisis económico, estético, funcional, constructivo y medio ambiental de varias propuestas de pasarelas peatonales elevadas. Se opta por las variantes metálicas que se modelan computacionalmente en el software SAP 2000. Los resultados obtenidos de los modelos computacionales son analizados en cuanto a deformaciones, tensiones, economía y constructibilidad con el objetivo de determinar la propuesta más eficiente. El principal resultado de la investigación es la elaboración de modelos computacionales de pasarelas peatonales cuya propuesta más eficiente es la pasarela peatonal elevada de armadura; de interés para el Centro Provincial de Ingeniería de Tránsito y demás entidades involucradas.

**Palabras claves:** flujo peatonal; pasarela peatonal elevada; modelos computacionales.

## **ABSTRACT**

Current and future economic growth in the Matanzas-Varadero-Cárdenas triangle; it produces increases in the trips attracted and generated, scenario that the current solution of the tracks does not satisfy adequately. Several theses reflect the need to add a lane per direction of circulation for the main flow (Cárdenas-Varadero), which generates a longer crossing length in a zone of high pedestrian flow, conditioned by the Martin Klein Pre-University Institute, the stops of Cárdenas and Varadero buses, the Oro Negro Service center and the piquera destined for Matanzas. Through an analysis prior to the investigation, the proposed elevated pedestrian walkway has been identified as an applicable variant to solve the current problem. For this study, an economic, aesthetic, functional, constructive and environmental analysis of various proposals for elevated pedestrian walkways is carried out. The metallic variants that are modeled computationally in the SAP 2000 software are chosen. The results obtained from the computational models are analyzed in terms of deformations, stresses, economy and constructability in order to determine the most efficient proposal. The main result of the research is the elaboration of computational models of pedestrian walkways; of interest to the Provincial Traffic Engineering Center and other entities involved.

**Key words:** pedestrian flow; elevated pedestrian walkway; computational models.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica .....	7
1.1. Infraestructura peatonal.....	7
1.2. Tipos de infraestructura peatonal.....	8
1.2.1. Clasificación funcional y categorización técnica.....	8
1.2.2. Parámetros que caracterizan a la infraestructura peatonal.....	9
1.2.3. Normativas cubanas y extranjeras.....	10
1.2.4. Planeamiento de infraestructura peatonal.....	10
1.3. Elementos que conforman la infraestructura peatonal.....	11
1.4. Relación oferta-demanda de infraestructura peatonal.....	13
1.4.1. Oferta de infraestructura peatonal.....	14
1.4.2. Demanda de accesibilidad y movilidad peatonal.....	14
1.5. Estudios de infraestructura peatonal.....	14
1.5.1. Estudios de oferta y demanda de infraestructura peatonal.....	14
1.5.2. Inventarios para determinar la oferta de infraestructura peatonal.....	15
1.5.3. Estudios de capacidad y niveles de servicio en infraestructuras peatonales.....	15
1.5.4. Estudios de volúmenes peatonales en infraestructuras urbanas.....	17
1.5.4. Estudios de origen y destino. Objetivos. Tipos.....	17
1.6. Pasarelas peatonales.....	18
1.6.1. Clasificaciones .....	18
1.6.2. Justificación del empleo de pasarelas peatonales. Requisitos mínimos. ....	19
1.6.3. Análisis necesarios para el pre diseño de pasarelas peatonales.....	21
1.6.4. Tipologías y materiales empleados en la ejecución.....	23
1.6.5. Tendencias internacionales y nacionales en el pre diseño de pasarelas peatonales.....	27
1.6.6. Impacto de las pasarelas peatonales en la accesibilidad y movilidad.....	28
1.7. Modelación computacional: .....	29
1.7.1. Ventajas y desventajas de la modelación computacional .....	30
1.7.2. Softwares empleados en la modelación computacional.....	31
Conclusiones Parciales del Capítulo.....	32
Capítulo II: Modelación de las variantes de pasarelas peatonales .....	33
2.1. Estudios previos realizados para el diseño de las pasarelas.....	33
2.1.1. Estudios topográficos.....	33
2.1.2. Estudios geológicos y geotécnicos: .....	34
2.1.3. Estudios de riesgo sísmico.....	35
2.1.4. Estudios de impacto ambiental.....	37
2.2. Definición de cargas en la pasarela peatonal .....	38
2.2.1. Cargas permanentes: .....	38
2.2.2. Carga de uso.....	38
2.2.3. Carga de viento.....	38
2.2.4. Carga sísmica.....	39



2.2.5. Combinación de cargas: .....	39
2.2. Análisis de modelos de pasarelas peatonales: .....	40
2.3. Diseño de propuestas seleccionadas.....	42
2.3.1. Propuesta I: Pasarela en forma de arco con tablero intermedio.....	42
2.3.2. Propuesta II: Pasarela en arco con tablero inferior .....	49
2.3.3. Propuesta III: Pasarela peatonal de armadura de doble celosía .....	51
Conclusiones Parciales.....	56
Capítulo 3 Análisis de los Resultados obtenidos de la modelación.....	57
3.1. Análisis de tensiones .....	57
3.1.1. Gráficos de tensiones .....	57
3.1.2. Análisis de los coeficientes de ratio.....	60
3.2. Análisis de las deformaciones.....	64
3.3. Análisis económico .....	66
3.4. Análisis de constructibilidad.....	66
3.5. Resultados del análisis comparativo. ....	67
Conclusiones parciales.....	67
Conclusiones.....	68
recomendaciones.....	69
Bibliografía .....	70
Anexos .....	77
ANEXO 1 Estudios ingenieros-geológicos .....	77
Anexo 2 Cálculo de carga de viento en las propuestas:.....	80
Anexo 3 Procedimientos en Matlab.....	86
Anexo 4 Diseño de los accesos.....	88

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo constante de las urbes en el mundo, las está tornando más congestionadas incidiendo directamente en la infraestructura vial. Al mismo tiempo los peatones y conductores se vuelven más vulnerables, tras convertirse en obsoletas las infraestructuras existentes.

El triángulo Matanzas-Varadero-Cárdenas encierra un área en la cual existe un considerable desarrollo industrial, portuario, petrolífero, aeroportuario, y sobre todo turístico, lo que unido a una red vial desarrollada, provoca el aumento de los flujos vehiculares que convergen en el nudo de entrada a Varadero (Reyes, 2017).

El crecimiento económico actual y previsto para el futuro produce incrementos en los viajes atraídos y generados, escenario que la solución actual de las vías no satisface adecuadamente. Varias tesis han abordado la problemática (Llanera, 2016; Santos, 2016; Vicet, 2016; Díaz, 2017; Martínez, 2017; Reyes, 2017) demostrando que se justificaría una solución a dos niveles pues a nivel serían insuficientes o de corto período de explotación. Llanera, (2016), Díaz (2017) y Reyes (2017) proponen en las variantes de diseños de intersecciones a desnivel con rotondas, la incorporación de un carril adicional para cada sentido circulatorio, conformando por tanto una franja de seis carriles de circulación para el flujo principal (Cárdenas-Varadero), lo que genera una longitud de cruce mayor.

Estudios de campo realizados como parte de la tesis (Ortega, 2018) reflejan los altos volúmenes de flujo peatonal presentes en el nudo de entrada a Varadero, derivados de la existencia de los siguientes puntos de interés: Instituto Preuniversitario Martín Klein, Servi Centro "Oro Negro", parada de coches de tracción animal, parada de ómnibus y piquera de taxis con destino a Matanzas, parada y piquera con destino a Cárdenas.

El flujo peatonal registrado se incrementará en un futuro cercano, consecuencia directa del aumento de la población de las zonas de Santa Marta, Guásimas y Varadero; el crecimiento de la infraestructura hotelera de la península, generadora de mayor cantidad de turismo y empleos y el desarrollo de la Marina Dársena. Ortega (2018) plantea que las

vías que confluyen en el nudo de entrada a Varadero carecen de infraestructuras peatonales que satisfagan el flujo peatonal actual y futuro y garanticen la seguridad y confort de los peatones, situación que unida al aumento de los carriles como propuesta del diseño de las soluciones de intersecciones a desnivel con rotondas se incrementan los niveles de peligrosidad para el cruce de peatones.

De ahí que la **Situación Problemática** sea: la inexistencia de infraestructura peatonal que satisfaga, con parámetros adecuados de seguridad y confort, el flujo peatonal actual y futuro en las vías que confluyen en el nudo de entrada a Varadero.

Soluciones como los pasos de cebra son incompatibles para vías de alta categoría con intensidades de tráfico elevadas, donde la prioridad es garantizar una velocidad de circulación sin interrupciones (López & Neves, 2012). Otras soluciones como las isletas quedan descartadas por la modificación que supondrían, incompatible con las propuestas de intersección a desnivel que contemplan tres carriles en cada sentido en la vía principal (Cárdenas- Varadero) formuladas por autores como Llanera, (2016) y Reyes (2017).

Ortega (2018) analiza soluciones de infraestructura peatonal y concluye que la más acertada al problema existente son las pasarelas peatonales elevadas. Por lo que el **Problema Científico** es: ¿Cuál será el modelo de pasarela peatonal elevada en las vías que confluyen en el nudo de entrada a Varadero, que luego de su ejecución satisfaga el flujo peatonal en el escenario actual y futuro y que a su vez garantice los parámetros necesarios de confort y seguridad?

**Objeto de estudio:** Proyecto de infraestructura peatonal.

**Campo de acción:** Solución conceptual de pasarela peatonal en el nudo de entrada a Varadero.

Consecuentemente con lo expresado anteriormente, se tiene como **Hipótesis** que: con las herramientas actuales de computación y los análisis de flujo peatonal se pueden obtener varios modelos para su comparación y escoger basados en criterios de durabilidad, economía, estética, funcionabilidad e integración con el medio ambiente el mejor modelo que satisfaga las necesidades peatonales.

Por tanto, se establece como **objetivo general**: Obtener un modelo de pasarela peatonal elevada, en las vías que confluyen en el nudo de entrada a Varadero, basado en criterios de durabilidad, economía, estética, funcionabilidad e integración con el medio ambiente.

Para alcanzar el objetivo general se tienen como **objetivos específicos**:

- Analizar el estado del arte y la práctica del diseño de pasarelas peatonales a nivel nacional e internacional.
- Elaborar los modelos computacionales de las tipologías analizadas en cuanto a parámetros de durabilidad, constructibilidad, economía, estética e integración con el medio ambiente.
- Analizar los modelos computacionales elaborados, en cuanto a deformaciones, tensiones, economía y constructibilidad.

**Tareas principales de la investigación:**

- Análisis del estado del arte y la práctica del diseño de pasarelas peatonales a nivel nacional e internacional.
- Elaborar los modelos computacionales de las tipologías analizadas en cuanto a parámetros de durabilidad, constructibilidad, economía, estética e integración con el medio ambiente.
- Análisis de los modelos computacionales elaborados, en cuanto a deformaciones, tensiones, economía y constructibilidad.
- **Métodos de investigación**

❖ **Métodos teóricos:**

**Análisis-síntesis.** Una vez definidos los objetivos a desarrollar se recopila la información necesaria referente al tema. Se realiza el fichaje para su posterior procesamiento, el cual consiste en una lectura exhaustiva con el fin de describir los elementos relacionados en la investigación y establecer vínculos entre los mismos que posibilita el logro de los objetivos.

**Histórico-lógico:** Como parte de la caracterización del objeto de estudio, y como resultado de la revisión bibliográfica, se elabora una reseña con la descripción de los antecedentes de los estudios de infraestructuras peatonales y análisis de prediseño de pasarelas peatonales.

**Inducción-deducción:** Mediante la inducción se lleva a cabo un proceso donde el pensamiento va de las partes que constituyen un objeto o fenómeno hasta el todo, mientras que la deducción es el camino contrario. Es así como inducción quiere decir ir de las partes al todo y deducción significa ir del todo a las partes. A nivel del pensamiento este método posibilita una mejor comprensión e interpretación del objeto de investigación con el cual se trabaja.

**Inferencia de datos:** Los volúmenes de flujo peatonal, resultantes del procesamiento de datos del aforo peatonal efectuado el 16 de marzo de 2018, se emplean para el predimensionamiento de la estructura.

**Modelación.** Se refiere a la utilización de un modelo que imita a la realidad a una escala por lo general reducida (modelo icónico), o que entra en analogía con esa realidad (modelo analógico), existiendo además los llamados modelos teóricos. Con tales modelos se trabaja y se experimenta, por lo que los mismos sustituyen la labor directa del investigador sobre la realidad que es objeto de investigación. Muchos especialistas consideran que también son modelos aquellas proyecciones que anteceden un resultado, sirviendo de punto de partida para su elaboración definitiva.

❖ **Métodos empíricos:**

**Entrevista y consulta a expertos.** Con el objetivo de aumentar el acervo y actualizar los criterios en cuanto al tema de investigación, se visitan empresas estatales dedicadas al diseño, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería como la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería (EMPAI), la Empresa de Ingeniería, Proyectos e Investigación (EIPi), la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Ministerio de la Construcción (INVECONS) y el Instituto de Planificación Física (IPF) de Varadero, en las cuales se entrevista a personal altamente calificado.

**Observación directa.** Mediante el estudio de proyectos de infraestructuras peatonales de diferentes configuraciones, así como el reconocimiento en el terreno de obras

construidas, se logra una visión más real de los parámetros geométricos que caracterizan a los elementos componentes de las pasarelas peatonales.

**Pertinencia y novedad de la investigación:** Constituye un punto de referencia para posteriores de estudios de flujos peatonales en el nudo de entrada a Varadero y otras zonas de interés.

### **Valores:**

- **Social:** La proyección de una solución de infraestructura peatonal en las vías que confluyen en el nudo de entrada a Varadero, tendrá un impacto social de gran magnitud, por cuanto los peatones que cruzan la autopista Cárdenas-Varadero entre los que se incluyen los alumnos y profesores del IPU Martín Klein podrán realizar un cruce de forma continua y segura. Tomando en cuenta que el emplazamiento de la obra constituye la imagen que brinda el polo turístico de Varadero a quienes los visiten, obliga al proyectista a tener presentes elementos estéticos como un adecuado tratamiento de paisajismo; una articulación visual con las edificaciones existentes; y – entre otros- una iluminación nocturna.
- **Práctico:** El presente trabajo incluye una propuesta de solución a un problema existente, y durante su desarrollo se realizan labores de observación directa.
- **Económico:** La autopista Cárdenas-Varadero es una de las arterias que nutre de trabajadores y recursos a Varadero, el polo turístico más importante de Cuba. La detención reiterada del tráfico en horarios picos como las primeras horas de la mañana hace evidente la repercusión desde el punto de vista económico en cuanto al valor innegable de tiempo, para cualquier economía. La implementación de una pasarela peatonal busca eliminar este problema y facilitar el desenvolvimiento de los peatones en la vía.
- **Metodológico:** La investigación define una metodología para el diseño de una pasarela peatonal, particularizando en el corredor turístico Cárdenas-Varadero. Esto puede constituir una herramienta a emplear por las autoridades pertinentes a los efectos en zonas de configuración similar.

### **Estructura de la tesis:**

El trabajo de diploma está estructurado de la siguiente forma:

- Resumen / Abstract.
- Índice.
- Introducción.

En ella se define la Situación Problemática y se formula el protocolo de la investigación, en el cual se precisan el problema científico, objetivo general, los objetivos específicos y la hipótesis, así como los métodos científicos utilizados en la investigación.

- **Capítulo I: Revisión bibliográfica:** Mediante la conceptualización de la terminología referente al tema de la investigación, se realiza una panorámica del estado del arte actual del objeto de estudio. Se analizan tipologías de pasarelas peatonales elevadas basadas en experiencias nacionales e internacionales. Se realiza un análisis de las normativas vigentes definiendo la que rige el proceso de predimensionamiento, así como el alcance de la presente investigación.
- **Capítulo II: Modelación de las variantes de pasarelas peatonales:** Se realizan estudios previos para el diseño de pasarelas peatonales y se elaboran los modelos computacionales de las distintas tipologías analizadas, el software SAP 2000, teniendo en cuenta su geometría, vínculos estructurales, materiales y las cargas que afectan la estructura.
- **Capítulo III: Análisis de los resultados obtenidos de la modelación:** Se analizan los resultados obtenidos en los modelos computaciones, para obtener el modelo más óptimo basándose en criterios de durabilidad, economía, estética, funcionalidad e integración con el medio ambiente.
  - Conclusiones.
  - Recomendaciones.
  - Referencias bibliográficas.
  - Anexos.

## CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tiene como objetivo analizar la terminología referente a las infraestructuras peatonales, la modelación computacional y el estado del arte y la práctica del diseño de pasarelas peatonales elevadas a nivel nacional e internacional. Se profundiza en las normativas vigentes; definiendo la que regirá el proceso de predimensionamiento y se realiza el análisis de pre-diseño de pasarelas peatonales.

### 1.1. Infraestructura peatonal.

La infraestructura peatonal está destinada a brindar los canales de movilidad para un tránsito peatonal seguro y confortable (González, 2017), que permita acceder a los espacios públicos destinados a las personas, trasladarse entre ellos con la menor necesidad de transporte automotor, para esto conjuga diferentes elementos que por lo general se desarrollan a la par con las vías tanto en su longitud como de forma transversal (Ortega, 2018).

Según la NC: 654 (2008); comprende el área reservada para los peatones y solo ocasionalmente se abre al tráfico vehicular, para entrega y propósitos de limpieza o en una emergencia

Mediante el análisis de los elementos que componen la infraestructura peatonal puede comprenderse el modo en que se comportará el movimiento de los flujos peatonales, basado en las facilidades y opciones que se les entregue a los mismos para desplazarse a pie desde su origen hacia su destino (Tangarife & Vásquez, 2011).

De los elementos que componen la infraestructura es esencial conocer (Ortega, 2018) los siguientes:

- **Intersecciones:** Punto de encuentro de dos o más cosas de forma lineal, en este caso, calles o avenidas
- **Espacio público:** Territorio de la ciudad donde cualquier persona tiene derecho a estar y circular libremente; ya sean espacios abiertos como plazas, calles y parques, o cerrados como bibliotecas públicas, centros comunitarios, entre otros.



- **Peatón:** Persona que va a pie por una vía pública.
- **Puente Peatonal:** Puente construido para el uso exclusivo de peatones con el objetivo de franquear un obstáculo, como cuerpos de agua, valles o vías de tráfico vehicular.
- **Señalización:** Señales colocadas especialmente en las carreteras y otras vías de comunicación para servir de guía a los usuarios.

Para López & Neves (2012) la relación entre los elementos de la infraestructura peatonal y los peatones, generan términos como:

- **Velocidad de caminata:** Es el promedio de velocidad de caminata, el cual generalmente se expresa en metros por minuto o por segundo.
- **Densidad:** Número promedio de peatones por unidad de área dentro de una zona peatonal dada, expresado en peatones por metro cuadrado.
- **Volumen o flujo peatonal:** El flujo peatonal por unidad de longitud (ancho de la instalación), es el flujo peatonal promedio por unidad de ancho efectiva de la instalación expresada en peatones por minuto por metro.
- **Esviaje:** Ángulo entre la perpendicular al eje de la vía y el eje virtual del obstáculo que se salva por el puente.
- **Gálibo vertical:** Distancia vertical medida desde el intradós del puente a la cota superior de la vía, obstáculo o corriente fluvial que se salva.

## 1.2. Tipos de infraestructura peatonal.

### 1.2.1. Clasificación funcional y categorización técnica.

La infraestructura peatonal suele tener costos significativamente bajos, respecto a otros sistemas, requiere poco mantenimiento y tecnología. Su función principal es brindar seguridad en el cruce a los peatones, reduciendo y previniéndolos de riesgos de accidentes. Esta seguridad según Alfonso (2018) puede lograrse: `` evitando que los peatones enfrenten más de un flujo de tránsito y/o que crucen más de 2 pistas de circulación de una sola vez, otorgándoles derecho a paso sobre la calzada en forma permanente o durante un lapso de tiempo, o bien, proporcionándoles una ruta alternativa,

segregada del tránsito de vehículos motorizados, de modo que se elimine todo conflicto con estos últimos''

Ortega (2018) plantea que existen dos tipos de infraestructuras de tráfico peatonal de acuerdo a su tipo de flujo (Tabla 1.1). Infraestructuras de flujo continuo o ininterrumpido donde los peatones poseen la prioridad total de forma ininterrumpida e Infraestructuras de flujo discontinuo o interrumpido donde los peatones solo poseen periodos de tiempo determinados para el cruce y la prioridad es para el tráfico rodante o compartida por tiempos semafóricos.

*Tabla 1.1 Tipos de infraestructuras de tráfico peatonal (Ortega, 2018)*

<i>Flujo Continuo</i>	<i>Flujo Discontinuo</i>
Aceras	Pasos de Cebra en intersecciones semaforizadas
Banda libre peatonal	Cruces peatonales en intersecciones no semaforizadas
Pasos Peatonales	Cruces a media cuadra
Plataforma única peatonal	Plataforma única mixta
Pasos de cebra	-----

### **1.2.2. Parámetros que caracterizan a la infraestructura peatonal.**

Existen diferentes tipos de infraestructura peatonal, cuyas características de los elementos varían según el tipo. Sin embargo, presentan aspectos comunes para algunos casos, como se muestran en la Tabla 1.2.

*Tabla 1.2 Parámetros que caracterizan algunos elementos de la infraestructura peatonal. (Elaboración propia)*

Elementos componentes.	(López & Neves, 2000)	(Muñoz, 2016)
Franjas señalizadoras	Ancho, longitud, textura, colocación de escalones o rampas, geometría de las	Ancho, color, longitud, visibilidad.

	franjas.	
Vados peatonales	Pendiente longitudinal, transversal, anchura, resalte máximo.	Desnivel, pendientes, ancho, uso.
Pasos peatonales	Colocación, ancho mínimo, nivel, longitud.	Ubicación, longitud, uso, ancho, longitud.
Isletas	Ancho mínimo, fondo mínimo, resalte máximo, ubicación.	Ancho mínimo, profundidad mínima, señalización, visibilidad.

### 1.2.3. Normativas cubanas y extranjeras.

A nivel nacional e internacional existen normas, regulaciones y manuales que rigen el diseño de las infraestructuras peatonales, entre ellos:

- La NC 733:2009- Carreteras. Puentes y Alcantarillas. Requisitos de diseño y método de cálculo; establece las especificaciones de proyecto y métodos de cálculo para puentes, viaductos, pasarelas y alcantarillas
- La NC 391-2: 2004: Accesibilidad de las personas al medio físico. Parte 2: Urbanismo y edificaciones, establece los elementos generales y los requisitos específicos a cumplir en tal sentido en el urbanismo, las edificaciones, las comunicaciones, la señalización, la información y la transportación de pasajeros.
- Guía De Especificaciones LFRD Para El Diseño De Puentes Peatonales, 2010
- Especificaciones generales para puentes peatonales. USA. LFRD-AASTHO, 2010
- Existen además diversos manuales que recogen valores y características con las dimensiones o requisitos mínimos para cada tipo de infraestructura (López & Neves, 2000; Poblete & Saball, 2009; Jerez & Torres, 2009; Guadalajara, 2010; Prada et al., 2012; Itzel, 2015; Donaldo, 2017)

### 1.2.4. Planeamiento de infraestructura peatonal.

La infraestructura peatonal suele tener costos significativamente bajos, respecto a otros sistemas, requiere poco mantenimiento y tecnología. ( Alzamora y Monja, 2018)

Los planes de infraestructura peatonal están encaminados por regla general (Tangarife y Vázquez, 2011) a:

- Mejorar la movilidad y cobertura de las redes de transporte público propiciando servicios específicos como paradas; mejorando el acceso de las personas.
- Implementar estrategias que mejoren la movilidad especialmente en las principales vías.
- Identificar los problemas de accesibilidad y movilidad de peatones.
- Incentivar medidas de apoyo a los desplazamientos peatonales.
- Incrementar la movilidad peatonal frente a la vehicular.
- Implementar políticas coordinadas de circulación, estacionamiento y transporte público: reducir el uso del vehículo en la zona urbana.
- Regular la circulación de vehículos pesados y de carga y descarga

### 1.3. Elementos que conforman la infraestructura peatonal.

Ortega (2018) define que los elementos que están destinados a brindar servicio a los peatones para su desplazamiento o estancia, componen la infraestructura peatonal. En la Tabla 1.3 se muestran los elementos que la componen:

*Tabla 1.3- Elementos que componen la infraestructura peatonal. (Elaboración propia)*

<i>Componentes</i>	<i>(Jerez &amp; Torres, 2009)</i>	<i>(Poblete &amp; Saball, 2009)</i>	<i>(Guío, 2009)</i>	<i>(Volta, 2010)</i>	<i>(Martínez, 2014)</i>	<i>(López &amp; Neves, 2012)</i>	<i>(Medina &amp; Jimena, 2012)</i>
Aceras	X	X	X	X			X
Calles peatonales		X	X			X	X

Cruce semaforizado	X		X	X	X		X
Escaleras	X		X	X	X		
Isla o refugio peatonal	X	X		X	X	X	
Pasos cebra	X		X	X	X	X	
Plazas		X					X
Puentes peatonales	X			X	X	X	X
Rampas	X			X	X		
Túnel peatonal	X			X	X		
Vados	X			X		X	

**Acera:** zonas longitudinales elevadas respecto de la calle, carretera o camino, que hacen parte del espacio público, destinadas al flujo y permanencia temporal de todo tipo de peatón. (Jerez & Torres, 2009)

**Calle peatonal:** calle destinada únicamente al tránsito de peatones, en la que los vehículos sólo pueden circular de forma ocasional para acceso a aparcamientos privados, para carga y descarga y en situaciones de emergencia. (Ortega, 2018).

**Isletas o refugio peatonal:** son zonas comprendidas en el ancho de grandes calzadas, destinadas a la estancia de los peatones con objeto de fraccionar el tiempo de cruce de las mismas. Su instalación resulta imprescindible en vías de amplia sección, tres o más carriles por sentido, o más de 20 m. de ancho de calzada. En vías de menor sección, igualmente puede ser aconsejable la colocación de isletas para facilitar el cruce de las mismas a personas con dificultades de movilidad, cuya velocidad de paso está limitada. (López & Neves, 2012)

**Paso cebra:** es una demarcación a nivel de piso constituida por bandas paralelas de color blanco, con el fin de dar prioridad al paso de peatón frente al vehículo. (Jerez & Torres, 2009)

**Plazas:** son áreas de espacio público, abiertas, tratadas como zonas destinadas al disfrute de los ciudadanos. Deben estar conectadas en su entorno y disponer de ayudas o guías táctiles para el uso de todos los usuarios.(Soto & Cabrera, 2011)

**Puente peatonal:** el puente peatonal es una estructura que permite el paso de peatones sobre corrientes de agua, depresiones topográficas cruces a desnivel. Estas estructuras garantizan una circulación continua y fluida para los peatones. (Peralta, 2018).

**Rampas:** plano inclinado dispuesto para subir y bajar por él y que permita salvar desniveles bruscos o pendientes. (López & Neves, 2012)

**Vados:** se considerarán vados las superficies inclinadas destinadas a facilitar la accesibilidad entre los planos horizontales de distinto nivel (acera-calzada). Constituye la modificación de las aceras y bordillos de las vías públicas y se diferencia por presentar en su pavimento una textura y color diferentes. (López & Neves, 2000; Jerez & Torres, 2009)

#### **1.4. Relación oferta-demanda de infraestructura peatonal.**

La información primaria aportada por las actividades de trabajo de campo, tras la caracterización física de la zona de estudio y su área de influencia, las características del sistema vial y de los peatones; permite caracterizar la relación oferta-demanda del espacio asignado y de esa forma optimizar la utilización de los espacios disponibles y/o planificar nuevas áreas que podrían utilizarse para la creación de infraestructuras peatonales, con el fin de que llegue al máximo nivel de capacidad y servicio. (FDN, 2017; Alfonso, 2018).

#### **1.4.1. Oferta de infraestructura peatonal.**

La oferta de la infraestructura peatonal, es la capacidad de la misma para admitir un determinado flujo peatonal y está relacionada directamente con la capacidad que pueda brindar, según las condiciones de explotación que presenta. (Rodríguez, 2019)

#### **1.4.2. Demanda de accesibilidad y movilidad peatonal.**

La demanda es la magnitud del flujo presente o previsto, circulando a una velocidad determinada que viene dada por el motivo del viaje y la corriente peatonal (Rodríguez, 2019). Se requiere para el correcto diseño de infraestructuras peatonales, que exista equilibrio entre la oferta y la demanda de accesibilidad y movilidad.

La accesibilidad, característica del medio que permite a las personas el acceso y utilización de los elementos que conforman la infraestructura peatonal; y la movilidad que constituye la medida de los desplazamientos realizados, se dan a partir de la decisión de los individuos a emprender un viaje para suplir sus intereses o necesidades particulares, por lo que se hace necesario tener un espacio público suficiente en el que el peatón se sienta libre de hacer su recorrido. (Castañeda, 2010)

### **1.5. Estudios de infraestructura peatonal.**

El diseño de una infraestructura peatonal, que permita un desplazamiento libre de obstáculos y sin inconvenientes, a todo tipo de peatones, debe estar regido por estudios de infraestructura peatonal. Estos difieren en dependencia del objetivo que se quiera alcanzar y la mejor forma de realizarlos es sobre el terreno.

#### **1.5.1. Estudios de oferta y demanda de infraestructura peatonal.**

Para conocer las características de los flujos peatonales de determinada zona, es necesario llevar a cabo ciertos inventarios y estudios, que permitan establecer la demanda de espacios y verificar las necesidades físicas, para así revisar e incrementar la oferta en caso de ser necesario (Cal y Mayor, 2010). Es necesario obtener la demanda presente y futura para poder analizar los cambios en el sistema, predecir su comportamiento y capacidad de respuesta, para conocer si son correctos dichos cambios o no. Esto no solo

se verá reflejado en la capacidad y nivel de servicio de las vías peatonales, sino también en el diseño del esquema vial de la red urbana de la ciudad. (González, 2017).

**1.5.2. Inventarios para determinar la oferta de infraestructura peatonal.**

Su objetivo es determinar las características geométricas de la infraestructura peatonal y otras condiciones físicas como su estado, la localización de obstáculos, riesgos y condiciones que puedan afectar el movimiento de las personas. Estos estudios también consideran la señalización vial para peatones, esto involucra: señales verticales, demarcación horizontal, dispositivos de control del tránsito, elementos de apoyo como barandas, rampas, zonas sensoriales. (Alfonso, 2018)

**1.5.3. Estudios de capacidad y niveles de servicio en infraestructuras peatonales.**

La capacidad peatonal permite evaluar el nivel de servicio que presta una infraestructura peatonal, según los flujos existentes y proyectados al futuro. Los niveles de servicio resultantes, son generalmente catalogados como un parámetro para estimar la calidad de la infraestructura. Los estudios de capacidad dependen de la cantidad de peatones, el periodo de tiempo, y el área de la infraestructura en cuestión (Manual de tránsito) (Jerez & Torres, 2015).

**Tipos de estudios**

Los estudios de campos para determinar la capacidad y el nivel de servicio, varían en función del tipo de infraestructura peatonal que requiera evaluarse (Ver Tabla 1.4). De igual forma varían la forma de procesar los datos en cada estudio. (Soto & Cabrera, 2011; Méndez & Wang, 2019).

*Tabla 1.4- Tipos de estudios de campos para determinar capacidad y nivel de servicio (Elaboración propia)*

<i>Tipos de estudios de campo</i>	<i>Datos preliminares</i>	<i>Procesamiento de datos</i>
-----------------------------------	---------------------------	-------------------------------



Estudios de campo para vías peatonales.	Aforo de los 15 minutos de la demanda máxima peatonal ( $Q_{p15}$ ), determinación de obstáculos y la anchura total de la infraestructura en metros.	Se determina la anchura efectiva, la intensidad unitaria y la intensidad de los pelotones con el fin de determinar posteriormente el nivel de servicio.
Estudios de campo para pasos peatonales.	Ancho y longitud del paso peatonal ( $A_p$ , $L_p$ ); peatones que ingresan al paso peatonal ( $I_e$ ) en pt/min; peatones que salen del cruce ( $I_s$ ) en unidades pt/min y distribución semafórica en segundos.	Se procede a partir de los datos iniciales resultantes del estudio de campo y se obtiene el tiempo-espacio disponible, el tiempo medio de cruce, el tiempo total de ocupación de cruce y luego el nivel de servicio mediante la ocupación media.
Estudios de campo para esquinas	Se parte para el estudio del ancho de las aceras y radio de la esquina en metros, corrientes que intervienen en pt/min y reglaje peatonal en segundos.	Se procede obteniendo el tiempo-espacio disponible, el tiempo de espera, se determina la demanda tiempo-espacio en la zona de espera, tiempo-espacio disponible para la circulación, se calcula el flujo peatonal por ciclo, se estima el tiempo total para luego obtener la ocupación media que define el nivel de servicio

Los niveles de servicio se determinan en la tabla 1.5, que propone la norma HCM (Highway Capacity Manual, 2000), en la que se establecen seis categorías de niveles de servicio peatonal, del “A” al “F”. El nivel de servicio “A” se refiere a condiciones de volumen libre. El nivel de servicio “E” se refiere a condiciones de volumen a capacidad y el nivel de servicio “F” a condiciones de congestión crítica.

Tabla 1.5 Niveles de servicio peatonal. (HCM 2000)

Nivel de servicio	Superficie ( $m^2/pt$ )	Intensidades y velocidades esperadas		
		Velocidad media (m/min)	Intensidad (pt/min/m)	Relacion $I/c$
A	$\geq 11,70$	$\geq 78$	$\leq 7$	$\leq 0,08$
B	$\geq 3,60$	$\geq 75$	$\leq 23$	$\leq 0,28$
C	$\geq 2,16$	$\geq 72$	$\leq 33$	$\leq 0,40$
D	$\geq 1,35$	$\geq 68$	$\leq 49$	$\leq 0,60$
E	$\geq 0,54$	$\geq 45$	$\leq 82$	$\leq 1,00$
F	$< 0,54$	$< 45$	Variable	

#### **1.5.4. Estudios de volúmenes peatonales en infraestructuras urbanas.**

Los estudios de volúmenes peatonales, también denominados aforos o conteos peatonales, tienen el fin de cuantificar la demanda de infraestructura peatonal, especialmente su variación (espacial y temporal), distribución (por sentidos o cruces en accesos de intersecciones) y composición (de acuerdo con los atributos de los peatones). (Guío, 2009)

#### **Procedimientos para la ejecución.**

Con las condiciones tecnológicas actuales, los aforos peatonales son realizados mediante sensores que el peatón generalmente no detecta como lo son las cámaras de video, sin embargo, su utilización en los aforos implica contar con software especializado para conteo. Sin embargo, en muchos sistemas con altos flujos peatonales, los conteos son realizados en forma mecánica o mediante sensores electromagnéticos u ópticos (Valenzuela y García, 2015). El conteo manual, es empleado aún con frecuencia, puesto que en ocasiones se requiere identificar algunas características del peatón, por ejemplo su edad; realizar esta identificación mediante el uso de sensores puede resultar muy costoso e involucrar grandes errores de medición. Otro aspecto que ha inducido la continuidad en el uso de conteos manuales es el costo de la mano de obra dado que no se requiere preparación especial para realizar este tipo de estudio. (Guío, 2009)

#### **1.5.4. Estudios de origen y destino. Objetivos. Tipos.**

Son estudios de campo que se utilizan para conocer información actualizada del movimiento peatonal. (Díaz, 2006). Existen diferentes tipos de estudios Origen-Destino, según la precisión y objetivos que quieran alcanzarse; pero todos se basan en el registro de las características de una muestra de viajes peatonales, cuyos resultados se expanden apropiadamente. Entre las características a recopilar están: origen y destino del viaje, hora del día en que se realiza, duración del mismo, ruta realizada, propósito. (Ortega, 2018).

El objeto de este tipo de estudio, es determinar la orientación del viaje de los peatones que transitan dentro de una determinada región, y que permiten en qué lugar se debe

mejorar las vías y colocar una infraestructura peatonal. Inciden en la determinación de condiciones, características de peatones, estudios de planeamiento general y de carácter económico.

## 1.6. Pasarelas peatonales.

El puente peatonal es una estructura que permite el paso de peatones sobre corrientes de agua, depresiones topográficas cruces a desnivel. Estas estructuras garantizan una circulación continua y fluida para los peatones. Se pueden construir en diferentes tipos de materiales. Los hay estáticos y móviles (que se pliegan, giran o elevan). Debido a la poca carga para la que están concebidos y a la limitada longitud que han de atravesar, el diseño de los mismos puede ser muy diverso. (Peralta, 2018)

### 1.6.1. Clasificaciones

Las pasarelas peatonales pueden clasificarse de la siguiente forma:

*Tabla 1.6- Clasificación de las pasarelas peatonales elevadas. (Elaboración Propia)*

<i>Tipo de material de construcción</i>	<i>Tipo de estructura</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Madera</li> <li>• Acero estructural</li> <li>• Hormigón armado</li> <li>• Hormigón pretensado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplemente apoyados</li> <li>• Continuos</li> <li>• Simples de tramos múltiples</li> <li>• Cantiléver (brazos voladizos)</li> <li>• Arco</li> <li>• Atirantado (utilizan cables rectos que atirantan el tablero)</li> <li>• Colgantes</li> <li>• Levadizos (basculantes)</li> </ul>

### 1.6.2. Justificación del empleo de pasarelas peatonales. Requisitos mínimos.

La construcción de un paso a desnivel para peatones, requiere, para su justificación, la observancia de los siguientes criterios (Olivas, 2001).

- Se puede pensar en una estructura de este tipo cuando se considera que existen rutas escolares, cruzando un Boulevard o una autopista, o una vía rápida; o cuando los volúmenes peatonales en general son sensiblemente altos, en un determinado punto de las vías antes citadas.
- Se puede considerar la construcción de pasos a desnivel en casos extremos, para atravesar vías urbanas o interurbanas con intensidades de tráfico de vehículos muy fuertes y con prioridad absoluta sobre el tránsito peatonal.
- Es conveniente considerar algunas características físicas del lugar; como pueden ser: la sección por cruzar, la existencia de servicios públicos como postes de luz, líneas de drenaje y agua potable, cableado. Las características mecánicas del suelo y otras más.
- La economía es también uno de los aspectos más importantes a considerar; por lo que es conveniente evaluar las diferentes alternativas, seleccionando aquellas que económicamente se justifiquen, en el largo plazo.

En el caso de estudio, existen varias razones que justifican el empleo de una pasarela peatonal, entre ellas: presencia de altos volúmenes peatonales, confirmado por estudios precedentes realizados por (Ortega, 2018); existencia de ruta escolar (IPU: Martín Klein) cruzando la autopista, en donde los vehículos presentan prioridad sobre el tránsito peatonal.

*Tabla 1.7- Requisitos (Elaboración Propia)*

	<i>Nivel Internacional</i>	<i>Nivel Nacional (NC 733:2009)</i>
Tablero	Ancho libre del tablero 2,40 m	

Piso	Antideslizante	
Pendientes	Rampas de acceso continuas 12% y rampa caballera (escalonada) 15% con huella no menor a 1,0 metro	La pendiente máxima longitudinal deberá ser de un 8%, excepto en los accesos. La pendiente máxima transversal deberá ser un 3% para lograr el escurrimiento de las aguas
Barandas	Altura de 0,98 m sobre el nivel de la placa de caminado, deben ser continuas y sin interrupciones.	El ancho mínimo entre barandas deberá ser de 2,25 m. Tendrán una altura mínima de 0,75 m y serán diseñadas para una carga transversal y vertical uniformemente distribuida de 0,75kN/m aplicada en el borde superior de la baranda
Alumbrado	Debe garantizar la seguridad del usuario dentro y debajo del puente peatonal.	

*Tabla 1.8-Requisitos de accesibilidad. (Elabración Propia)*

<i>Nivel internacional</i>	<i>Nivel nacional ( NC 391-2: 2013, 2013ª Accesibilidad y utilización del entorno construido por las personas)</i>
<p>Se debe garantizar el acceso de todos los peatones a través de escalera y elevadores o rampas.</p> <p>En el arranque de la escalera, la rampa o elevador, debe existir cambio de textura en el piso para evitar accidentes.</p> <p>La pintura de los pasamanos debe ser de color contrastante para facilitar la ubicación a personas con dificultad visual.</p> <p>Debe estar provisto de un bordillo mínimo de 15 cm de altura a todo lo largo del puente.</p> <p>En las rampas de ascenso y descenso de peatones se deberá considerar descansos de 2.00 a 2.50 m de longitud a lo largo de los tramos horizontales (en planta) a un máximo de 15.00 m.</p> <p>Las rampas de ascenso y descenso de peatones deberán tener un ancho suficiente para que circulen dos sillas de ruedas a la vez y en distinto sentido en cada puente.</p> <p>Los puentes peatonales deberán tener una guía para no videntes, localizada al centro de la sección transversal de</p>	<p>La pendiente máxima de las rampas para el desarrollo de 15 m máximos; longitudinalmente, en el plano horizontal no excederá del 10%.</p> <p>Cuando la longitud horizontal de las rampas (según diseño) exceda 15 m, se colocará un descanso al final de esta longitud.</p> <p>En las rampas de ascenso y descenso se deberán considerar descansos de 2.00 a 2.50 m de longitud a lo largo de los tramos horizontales (en planta) a un máximo de 15 m.</p> <p>Las rampas de ascenso y descenso deberán tener un ancho suficiente para que circulen dos sillas de ruedas a la vez y en sentido distinto</p>

rampas y puente.	
------------------	--

### 1.6.3. Análisis necesarios para el pre diseño de pasarelas peatonales.

Para el pre diseño estructural, es indispensable realizar los estudios y análisis básicos, que permitan tomar conocimiento pleno de la zona, que genere la información básica necesaria y suficiente que concluya en el planteamiento de soluciones satisfactorias plasmadas en el proyecto definitivo real, y ejecutable; mediante el desarrollo de las actividades básicas (Tapias, 2014).

Autores como Olivas (2001) y Ortega (2018) plantean que los análisis más relevantes son:

**Estéticos:** Las pasarelas deben de integrarse en el entorno que las rodea y, en lo posible, poseerán características agradables al usuario. Deben presentar cualidades, resultantes de la apropiada disposición de los elementos de diseño visual, tales como: el orden, la armonía, el contraste, el ritmo, la proporción, la escala y la unidad. (Febles, 2013)

**Durabilidad:** La vida útil de las pasarelas se establece como mínimo en 50 años, salvo justificación expresa. El proyecto debe considerar que ésta ha de alcanzarse minimizando los costes de conservación con una adecuada elección del tipo estructural, materiales, diseño, protección y plan de mantenimiento.

**Constructivos:** Gran parte de los elementos utilizados en la construcción de pasarelas son, o pueden ser, prefabricados. El empleo de este tipo de elementos implica una disminución de los costes asociados a estas estructuras, disminuyendo también el plazo de ejecución de las mismas.

**Funcionales:** En primer lugar, se definen las características esenciales de la pasarela, es decir, su función. En este sentido, es necesario especificar qué tipo de tránsito debe soportar: peatones, peatones y ciclistas, vehículos ocasionales mantenimiento, emergencias o vehículos con servidumbre de paso. En general, las pasarelas están destinadas al uso de peatones y de ciclistas; sin embargo, en algunas ocasiones, es necesario el paso de vehículos de emergencias o de mantenimiento, debiendo considerarse este factor en el diseño de la sección tipo de la pasarela.

**Económico:** En relación a los criterios económicos, no sólo hay que considerar el coste de la estructura, sino que también hay que tener en cuenta el mantenimiento necesario y su frecuencia, así como la posibilidad real de su realización, resultando normalmente más rentable un mayor coste de ejecución y menos mantenimiento, que lo contrario.

En el diseño de pasarelas peatonales, se realizan además estudios previos que permitan tomar conocimiento pleno de la zona, que genere la información básica necesaria y suficiente que concluya en el planteamiento de soluciones satisfactorias plasmadas en el proyecto definitivo real, y ejecutable.; mediante el desarrollo de estas actividades básicas:

**Estudios topográficos:** instrumento que permite definir la topografía de la zona de ubicación de la pasarela y sus accesos, con planos a escalas entre 1/100 y 1/250 considerando curvas de nivel y con secciones longitudinales y transversales. Proporcionan la definición precisa de la ubicación y establece puntos de referencias.

**Estudios de impacto ambiental:** es el instrumento básico para la toma de decisiones sobre los proyectos, obras o actividades que requieren licencia ambiental. (Peralta, 2018). Durante la fase de diseño de la infraestructura se preverá la minimización del impacto (final y de ejecución) y la naturalidad de los elementos constituyentes de la estructura, utilizando materiales de la zona siempre que sea técnica y económicamente posible.

**Estudios geológicos y geotécnicos:** las subestructuras de puentes transmiten esfuerzos al terreno natural bajo ellas; y producen deformaciones que se reflejan en su comportamiento estructural. La interacción del terreno de cimentación y la subestructura

afecta de tal manera al comportamiento conjunto, que es de extrema importancia el estudio del terreno de apoyo o cimentación de éstas. (Tapias & Pinzón, 2014, p.22)

**Estudios de riesgo sísmico:** las cargas sísmicas se originan debido al movimiento altamente irregular que experimenta el terreno de fundación durante un acontecimiento sísmico. Este movimiento irregular produce, en virtud de las propiedades de la estructura, fuerzas de inercia, fuerzas restauradoras y fuerzas disipadoras de energía que generan un movimiento de tipo vibratorio en la misma. Por lo tanto, los estudios de riesgo sísmico tienen como finalidad la determinación de espectros de diseño que definen las componentes horizontal y vertical del sismo a nivel de la cota de cimentación. (Rodríguez, 2019) (Tapias, 2014)

#### **1.6.4. Tipologías y materiales empleados en la ejecución.**

- **Tipologías** (González et al. 2003)

Para el diseño y encaje de pasarelas peatonales se dispone del mismo abanico de soluciones estructurales que para cualquier otro tipo de puente: tableros tipo viga, arcos, pórticos, atirantados y colgantes. Lo que se afectado es el rango de luces en las que se utilizan, en el que se mantiene el límite superior para cada tipología, pero desaparece el límite inferior aceptado para todas ellas. (González et al. 2003).

**Estribos:** Los estribos de una pasarela a menudo son muy diferentes de los de los puentes. Pueden tener un volumen considerable, haciendo que su correcto encaje resulte fundamental para el buen aspecto del conjunto. Estos elementos pueden desaparecer en caso de pasarelas elevadas, siendo sustituidos por rampas o escaleras de acceso apoyadas sobre pilas. En otras situaciones sí existe un estribo, pero aun en estos casos resulta conveniente que sus dimensiones sean pequeñas, a fin de adaptarse a la escala de los peatones y para disminuir el impacto visual.

**Pilas y mástiles:** La ligereza de la estructura de las pasarelas permite disminuir las dimensiones de sus apoyos y por tanto su presencia visual. En caso de los mástiles, sus dimensiones, hacen que siempre constituyan un elemento dominante dentro del conjunto estético de la pasarela.



**Vigas y pórticos:** La tipología más empleada en vigas y pórticos es de sección transversal en forma de U, con el fin de disminuir su canto aparente, de modo que sus brazos laterales constituyen simultáneamente las barandillas del tablero.

**Arcos:** Esta tipología es una de las más antiguas, y encaja bien cuando el vial a cruzar está en un plano inferior al del camino de los peatones. En otros casos existe la opción de utilizar rampas y escaleras para crear elementos masivos de los cuales arranque el arco. Cuando se dispone un arco muy rebajado es posible acomodar en él directamente el camino de peatones.

Mediante la forma del arco se reparten las tensiones de manera que se producen compresiones en todas las partes del arco. Del mismo modo es una estructura que salva una luz determinada sometida a esfuerzos de compresión donde las tracciones y flexiones se evitan o reducen al mínimo con lo que conseguimos que materiales que no resistan tracciones puedan ser utilizables para la construcción de esta tipología de estructuras. La curva natural del arco y su capacidad de disipar la fuerza hacia fuera reduce grandemente los efectos de la tensión en la superficie inferior del arco. Cuanto mayor es el grado de curvatura (cuanto más grande es el semicírculo del arco), sin embargo, mayores son los efectos de la tensión en el superficie inferior.

El tablero puede estar apoyado o colgado de esta estructura principal, dando origen a distintos tipos de puentes: puente en arco de tablero inferior, puente en arco de tablero intermedio, puente en arco de tablero superior. (Ver figura 1.3)



*Figura 1.3-Tipos de pasarelas peatonales en arcos (Elaboración propia).*

**Atirantados:** Según González et al. (2003) esta tipología es empleada con el fin de construir pasarelas más emblemáticas. Se puede utilizar tanto para estructuras de grandes o de moderadas dimensiones. Para Jiménez (2015) dentro del gran abanico posible de soluciones, las pasarelas atirantadas consiguen la distribución de las cargas a través de los tirantes, que transmiten las acciones sobre el tablero a una pila o pilas que las transfieren, a su vez, al cimiento en contacto con el terreno, donde se absorben y neutralizan.

**Colgantes:** Dentro de esta tipología se engloban tanto los colgantes tradicionales, con un tablero suspendido de un cable en catenaria, como las bandas tesas, en las que confluyen en único elemento tablero y cable.

### **Materiales estructurales empleados en la ejecución:**

El hormigón armado y pretensado ejecutados in situ se utilizan en la construcción de pasarelas comparativamente menos que en el caso de los puentes. Es muy frecuente que la pasarela se construya sobre un vial ya existente, de modo que la tendencia es construir pasarelas peatonales cuyas soluciones son prefabricadas de hormigón, metálicas o de madera, que presentan ventajas ante la construcción in situ pues no necesitan cimbras provisionales que interfieran con el tráfico, son más rápidas de ejecutar y no se interfiere con el tráfico. (González et al. 2003)

Algunos de los materiales más comunes son los siguientes:

**Acero:** este material puede emplearse para varias partes, como el tablero, los anclajes y todas las otras piezas para resistir grandes esfuerzos. Las resistencias a la compresión y a la tracción del acero son de 10 a 100 veces el promedio del hormigón, respectivamente, permitiendo que largos tramos de puentes reciban apoyo de un menor número de columnas. Además, siendo un metal, el acero tiene una ductilidad, o capacidad de doblarse, estirarse o deformarse sin romperse, mucho mayor al hormigón. (<http://estructuradepuenteenformadearco.blogspot.com/?m=1>)

Sin embargo, el acero tiene puntos débiles, especialmente la predisposición a la fatiga cuando se somete a grandes esfuerzos durante un largo período de tiempo, pero también a su fragilidad a bajas temperaturas. Aunque existen diferentes tratamientos para hacer que

este material enfrente las limitaciones físicas y ambientales que se impondrán sin sufrir daños como la galvanización y el revestimiento especial con cera de petróleo.

**Hormigón:** es el segundo material más utilizado en la construcción de puentes. Su ventaja radica en su laborabilidad y su fuerza proviene de su longevidad, ya que tiene una vida útil de hasta 100 años dependiendo de la composición. En la superficie, el hormigón es propenso a la corrosión por el agua salada y los contaminantes en el aire como el dióxido de carbono y dióxido de azufre. Esto se remedia usando otros materiales para cubrir la superficie. (Hernández & Hernández, 2016).

- **Hormigón armado:** compuesto por hormigón y refuerzos de acero. La pieza puede resistir de manera muy efectiva tanto las fuerzas de compresión como las de tensión. Sin embargo, hay un punto negativo, pues se deteriora prematuramente en ambientes húmedos y está sujeto a los efectos del oxígeno.
- **Hormigón pretensado:** la esencia del pretensado es crear artificialmente en la sección, antes de la aplicación de la carga exterior o simultáneamente con ella, un estado de tensiones que, superpuesta a las tensiones debidas a la carga de servicio, origine un nuevo estado de esfuerzos interiores en el cual las tensiones permanezcan, para todos los estados de cargas, entre los límites de máxima compresión y tracción que el hormigón puede resistir indefinidamente. (Hernández & Hernández , 2016)

Además de estos materiales tradicionales, las pasarelas constituyen el principal campo de experimentación para nuevos materiales compuestos por fibras de elementos de gran resistencia, como carbono, vidrio, aramida u otros, insertados en una matriz configurada generalmente por una resina. (Sobrino, 2003) (*Ver figura 1.4*).

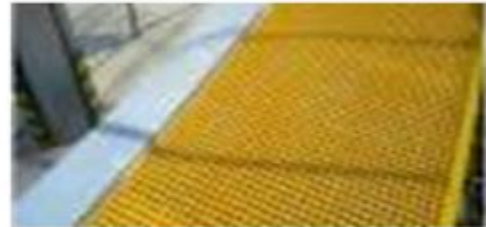


*Figura 1.4- Materiales compuestos por fibras. (García, 2015)*

El empleo de materiales FRP (“fiber reinforced polymer”) en la construcción de pasarelas es relativamente nuevo y se ha puesto en alza, en condiciones en las que primen problemas de corrosión o la necesidad de un peso reducido. (Ver figura 1.5). Cada vez más, su empleo aparece con mayor asiduidad dentro del mundo de la construcción. (Bank, 2006; García, 2015)



Barandas FRP



Tablero de rejilla de plástico reforzado con

*Figura 1.5: Materiales FR. (Elaboración propia)*

#### **1.6.5. Tendencias internacionales y nacionales en el pre diseño de pasarelas peatonales.**

Autores como González et al. (2003) coinciden en que la práctica profesional internacional muestra que existe una búsqueda por lograr un equilibrio entre la funcionalidad y la estética, puesto que la economía no es el único criterio aplicable; cada vez son más reclamadas obras con la consideración de singulares, en las que se pide la originalidad y novedad, aceptándose a cambio incrementos de los costes a veces muy elevados respecto de las soluciones más tradicionales. (Ver figura 1.6)



*Figura 1.6-Pasarelas peatonales más novedosas (Elaboración propia)*

Sin embargo se ha extendido mucho la prefabricación industrializada en las últimas décadas, que empleando los mismos elementos en ubicaciones diferentes los repite muchas veces y así resultan más económicos, pero también rutinarios y peor encajados. (Ver figura 1.7)



*Figura 1.7: Pasarelas peatonales prefabricadas (Elaboración propia)*

A nivel nacional el empleo de pasarelas peatonales para solucionar problemas peatonales no se ha incrementado, siendo otras variantes más económicas las ejecutadas, sin dar solución a largo plazo a la problemática.

Por lo general prima la funcionabilidad y la economía ante los criterios estéticos, cuando, el diseño es un arte que utiliza la ciencia y las matemáticas para apoyar muchas de sus sentencias. (Febles, 2013). No suelen reflejarse en armonía las cualidades estéticas que logran un mejor encaje en el entorno como son: el orden, la proporción, el ritmo, la escala, la unidad y el contraste.

#### **1.6.6. Impacto de las pasarelas peatonales en la accesibilidad y movilidad.**

La falta de cultura vial ha provocado que los puentes peatonales no sean utilizados por los ciudadanos y en algunos casos han cobrado la vida de personas quienes por no perder unos minutos, han perdido la existencia. El creciente aumento del flujo vehicular implica un mayor cuidado de todos los ciudadanos al momento de hacer uso de las calles y ello incluye el uso de los puentes peatonales, ya que no en vano existen dichas estructuras, que lo único que ofrecen es una mayor calidad de vida humana al garantizar la movilidad peatonal bajo parámetros de confort.

### **1.7. Modelación computacional:**

Se entiende por modelación al proceso mediante el cual se crea una idealización matemática que pretende representar una estructura lo más real posible. En la actualidad el ingeniero estructural tiene la posibilidad de emplear y recurrir a varios programas de modelación y análisis de estructuras, los cuales se definen a partir de una hipótesis o teoría. La práctica del diseño estructural tiende hacia una avanzada automatización, impulsada por la popularización del empleo de las computadoras. Su empleo para el análisis estructural se ha extendido a tal grado, que se ha llegado a la etapa de dimensionamiento y con ello se llega con algunos programas más sofisticados, a la elaboración de planos estructurales y sus especificaciones. (Giráldez, 2019; Salas, 2019)

Para autores como Alfonso et al. (2015), Salas (2019) y Giráldez, (2019), en la actualidad, el empleo de las herramientas informáticas ha tenido un auge extraordinario en la modelación estructural. Gran variedad de programas se emplean para este propósito, como: ABAQUS, ANSYS, SAP 2000, ETABS, STAAD, RESCOL, ROBOT, DIAMONDS, TEKLA, STAAD.

Para que un modelo describa el comportamiento de una estructura lo más real posible, debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La geometría de la estructura.
- Propiedades de los materiales que la constituyen.
- Ubicación y magnitud de las cargas.
- Elementos que la componen ya sean en una, dos o tres dimensiones.
- Conexiones internas entre los elementos.
- Los apoyos externos y la interacción de la estructura con el medio.

Autores como García (2015) y Giráldez (2019), plantean que la modelación estructural atraviesa por varias etapas (*Ver figura 1.8*):

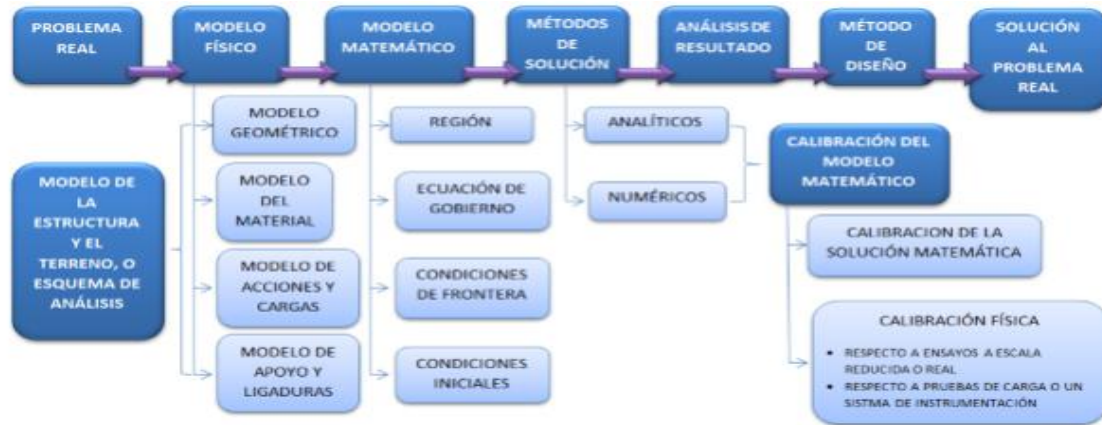


Figura 1.8 Etapas de la modelación estructural. (García, 2015)

### 1.7.1. Ventajas y desventajas de la modelación computacional

Según Giráldez (2019) la modelación computacional posee ventajas y desventajas:

#### Ventajas:

- Suple la experimentación física y convencional, cuando ella no es factible por diversas razones.
- Permite analizar numerosos efectos al realizar diversas alteraciones.
- Permite incluir elementos de incertidumbre.
- Tiempos rápidos de respuesta
- Facilita el entrenamiento de personal y la enseñanza-aprendizaje de sistemas complejos y análisis diversos.
- Permite experimentar con situaciones nuevas y anticipar resultados

#### Desventajas:

- En situaciones complejas puede requerir equipo costoso y puede tardar mucho tiempo para desarrollarse
- No genera soluciones óptimas para los problemas

- No produce respuestas por sí mismo, el usuario debe generar las condiciones y restricciones.
- Es una aproximación del sistema real.
- Requiere de equipo computacional y el conocimiento de algún software de modelación y saberlo aplicar.
- Es un enfoque de ensayo y error que puede generar diferentes soluciones.

### **1.7.2. Softwares empleados en la modelación computacional**

#### ❖ SAP 2000:

El SAP 2000 es un programa de elementos finitos, con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento de un amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras. La versatilidad en modelar estructuras, permite su utilización en el dimensionamiento de puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras marítimas y todo tipo de infraestructuras que necesite ser analizada y dimensionada.

Es posible generar automáticamente cargas de viento, sismo y vehículo, y posteriormente, hacer el dimensionamiento y comprobación automática de estructuras de hormigón armado, perfiles metálicos, de aluminio y conformados en frío. Permite la evaluación de grandes desplazamientos en cada etapa de la estructura, el análisis modal a través de los vectores propios Eigen y Ritz en casos de cargas no lineales, el análisis del comportamiento catenaria en cables, la no linealidad del materia y de los objetos de área no lineales, el análisis de pandeo o colapso progresivo, el uso de “link” no lineales para modelado de fricción, amortiguación, aisladores de base y rigidez multilineal o plástica entre nudos, y finalmente, la secuencia constructiva.

#### ❖ Autodesk Robot

Es un software desarrollado por Autodesk que proporciona herramientas para el análisis y simulación de estructuras grandes y complejas. El Método de Elementos Finitos (MEF) que integra, permite analizar la construcción diseñada en su conjunto, así como



disecionar y enfocar el análisis en partes concretas del mismo, muy difíciles de estudiar en profundidad con otros métodos y programas de cálculo.

Autodesk Robot dispone de opciones como el cálculo de uniones de acero, estructuras de madera, esquemas automáticos de cargas, losas, efectos de torsión, secciones de armado, y análisis rápido del punzonamiento. Con este software se pueden desarrollar funciones de generación automática de mallas y modelo de estructural avanzado; cálculo de cargas estructurales y combinación de cargas; simulación de cargas de viento y generación de informes de resultado de análisis.

#### ❖ Diamonds

Es un programa informático para el cálculo y análisis de estructuras de acero, madera u hormigón que cuenta con una interfaz intuitiva que permite la introducción de datos de manera gráfica, el control visual permanente sobre el modelo y disminuye la posibilidad de cometer errores. Los análisis de Diamonds permiten componer informes personalizados, completos y detallados de manera rápida y precisa y se pueden ampliar con módulos adicionales que añaden funcionalidades y permiten realizar informes más completos. Estos son los siguientes: módulo de resistencia al fuego; módulo de cargas móviles; módulo de análisis sísmico y módulo dinámico.

### **Conclusiones Parciales del Capítulo**

- Se justifica el empleo de pasarela peatonal en la zona de estudio por la presencia de altos volúmenes peatonales y la existencia de ruta escolar cruzando una autopista.
- No existen normativas cubanas para la proyección de pasarelas peatonales, por lo que se hace necesario utilizar otras normativas para el prediseño de la misma.
- La modelación computacional permite la idealización matemática de estructuras y proporciona herramientas para el análisis y diseño estructural.

## **CAPÍTULO II: MODELACIÓN DE LAS VARIANTES DE PASARELAS PEATONALES**

El presente capítulo tiene como objetivo realizar los estudios previos para el diseño de pasarelas peatonales y la modelación computacional de tres variantes de pasarelas peatonales, en el software SAP 2000.

### **2.1. Estudios previos realizados para el diseño de las pasarelas.**

#### **2.1.1. Estudios topográficos.**

La topografía del lugar propuesto debe ser tal que se minimicen los altos cambios de nivel para los usuarios de los pasos a desnivel, así como para disminuir los costos en la

construcción. La zona de estudio, es predominantemente llana como se muestra en la *Figura 2.1*). Los mayores valores de cota están determinados por la explanación sobre la cual se sustenta el IPU Martín Klein que se encuentra aproximadamente 1,5 m por encima del nivel de la acera y 1,7 m por encima del nivel de la rasante de la autopista Cárdenas-Varadero. (Ortega, 2018) (Ver figura 2.2)



*Figura 2.1 –Plano de relieve. (Google earth)*



*Figura 2.2- Diferencias de nivel en la zona. (Ortega, 2018)*

### **2.1.2 Estudios geológicos y geotécnicos:**

Se analizan estudios ingenieros-geológicos realizados por la Unidad de Investigaciones para la Construcción (INVESCONS) en los siguientes puntos cercanos a la zona de

estudio: Área de entrada de Varadero, Centro de control del mosquito y el aeropuerto viejo de Varadero. (Ver Anexo 1). Se tienen presente además tesis precedentes que abordan soluciones de rotondas a desnivel en el nudo de entrada a Varadero.

La zona se caracteriza por la presencia de rocas calizas de dureza baja o media, a veces porosas, con resto fósiles y oquedades que en ocasiones aflora a la superficie. Pueden encontrarse también calcarenitas. Además está constituida por sedimentos de la formación seboruco cubierto por materiales contemporáneos. (Martínez, 2017)

Se considera que el área no presenta fenómenos cárnicos de consideración, lo que se manifiesta por el carácter estable de la resistividad.

### **2.1.3. Estudios de riesgo sísmico.**

A nivel nacional, la NC:46:2017 establece los requisitos básicos para el diseño y construcción de obras sismorresistentes, ubicadas en zonas de peligro sísmico, incluye tanto las edificaciones como las obras civiles con el propósito de disminuir o mitigar su grado de vulnerabilidad, excepto estructuras especiales tales como plantas nucleares, eléctricas, mecánicas y similares; para tales casos se requieren consideraciones específicas para ellas que estén acordes con lo establecido en esta norma.

El alcance de los estudios de riesgo sísmicos dependerá de la zona sísmica (*Figura 2.3*) donde se ubicará la pasarela

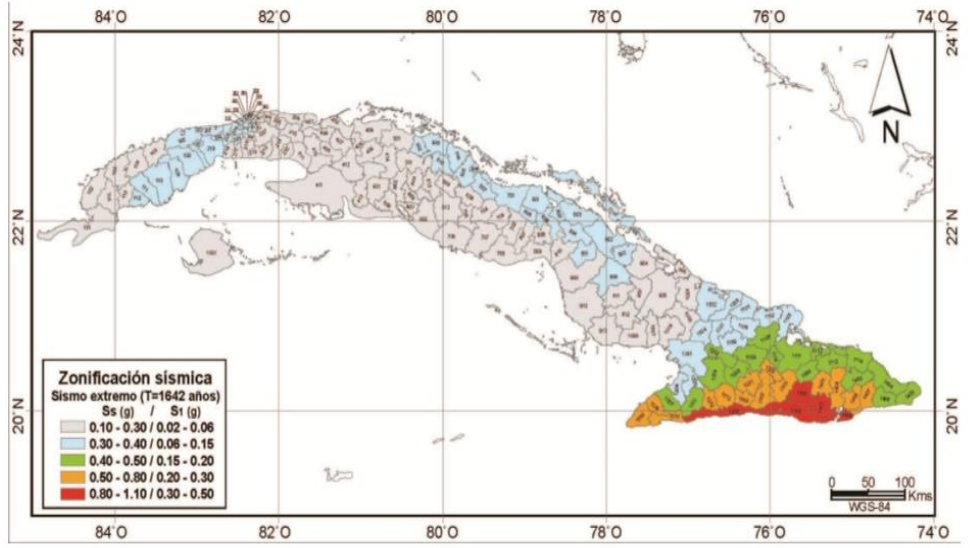


Figura 2.3-Zonificación Sísmica con Fines de Ingeniería (NC: 46: 2017)

La zona de estudio, presenta los valores mostrados en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1-Valores correspondientes a la zona de estudio. (NC: 46: 2017)

	<b>S0(g)</b>	<b>Ss(g)</b>	<b>S1(g)</b>	<b>Tl(s)</b>	<b>Zona</b>
Varadero	0.145	0.246	0.042	3.0	1

El lugar de emplazamiento de la pasarela peatonal se clasifica como Zona 1, es decir, de peligro sísmico muy bajo sin efectos dañinos para las construcciones donde por lo general no es necesario tomar medidas sismorresistentes. No obstante desde el punto de vista sismológico, no puede decirse que existe sismicidad nula. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo ( $S_a$ ) estarán entre (0,10 - 0,30) g para periodos cortos ( $S_s$ ) y entre (0,02 - 0,06) g para periodos largos ( $S_1$ ).

La NC: 46: 2017, aborda el nivel mínimo de protección sísmica de acuerdo a la importancia de la obra, y establece que en la zona sísmica 1 no se aplicará el diseño sismorresistente a ninguna obra. Las obras utilitarias, ordinarias e importantes no requerirán la aplicación del diseño sismorresistente en ninguna de las dos Zonas anteriores (1 y 2).

#### 2.1.4. Estudios de impacto ambiental.

De realizarse la pasarela peatonal elevada, se generarán pocos impactos ambientales negativos en la zona de emplazamiento, registrados en la siguiente tabla:

*Tabla 2.2- Impactos ambientales negativos generados. (Elaboración propia)*

<i>Impactos negativos</i>	<i>Grado de Significación</i>	<i>Reversibilidad</i>	<i>Posibilidades de mitigación</i>
Contaminación atmosférica local por las emisiones de ruido y vibraciones derivados del uso de equipos pesados de construcción, martillos neumáticos y otros medios utilizados en obra	Alto	No	Pocas
Contaminación atmosférica local por las emisiones de gases de combustión derivados del uso de equipos pesados de construcción, martillos neumáticos y otros medios utilizados en obra.	Alto	NO	Pocas
Contaminación atmosférica local por las emisiones de partículas derivadas del uso de equipos pesados de construcción, y otros medios utilizados	Alto	No	Pocas
Contaminación atmosférica local por partículas emitidas en la manipulación y almacenamiento de escombros y otros Residuos Sólidos Urbanos in-situ fundamentalmente durante las obra de demolición.	Alto	No	Pocas
Deterioro estético del paisaje por la manipulación de escombros y otros RSU in-situ.	Alto	No	Desaparecerá al rehabilitar el área

## **2.2. Definición de cargas en la pasarela peatonal**

### **2.2.1. Cargas permanentes:**

Las cargas permanentes o llamadas también cargas muertas; son cargas de magnitud constante que se mantienen en una sola ubicación. Las constituyen el peso propio de la estructura y todas las demás cargas inmóviles vinculadas permanentemente a la misma. (Tapias, 2014). En los modelos se tienen en cuenta las siguientes cargas permanentes:

- Peso propio de la estructura: es generado por el programa SAP 2000 de acuerdo al tipo de material a emplear.
- Otras cargas: barandas, luminarias.

### **2.2.2. Carga de uso.**

Las cargas de uso o cargas vivas; son aquellas que originan los cuerpos que no permanecen en una misma posición o que no actúan permanentemente sobre una estructura y cuyas magnitudes pueden variar.

El apartado 4.1 de la NC: 284: 2003: Edificaciones. Cargas de uso; correspondiente a cargas horizontales por unidad de longitud sobre pasamanos de barandas de escaleras establece que las barandas de pasarelas peatonales presentan una carga de 0,70 kN/m. Según el apartado 10.6 de la NC 733:2009 en las pasarelas peatonales habrá de adoptarse una carga característica accidental distribuida de 4,50 kN/m<sup>2</sup>.

### **2.2.3. Carga de viento.**

La carga de viento se define como la presión de este sobre el puente. Para puentes de grandes luces, especialmente de puentes colgantes y suspendidos, la carga de viento suele ser crítica afectando las tensiones y estabilidad del puente. (Lin & Yoda, 2017)

Para las pasarelas donde los vanos suelen ser menores de 40 m de luz, y de menos de 20 m en altura de pilas intermedias, bajo unas condiciones determinadas, podrá aplicarse el

cálculo simplificado del empuje de viento en tablero y pilas, considerando únicamente los efectos del viento transversal. Este método simplificado calcula dichos empujes en función de la altura de las pilas, si existen, el tipo de entorno y la velocidad básica fundamental del viento del lugar.

La fuerza de viento sobre los pasos peatonales se calcula según lo especificado en el apartado 7.12 de la NC 733: 2009, en el que se establece que las cargas características total a considerar se obtiene de acuerdo a lo indicado en la NC: 285: 2003: Carga de viento. Método de cálculo. (Ver Anexo 2).

#### **2.2.4. Carga sísmica.**

Para pasos peatonales los valores de la carga sísmica se determinarán con el peso total de la estructura más el peso de las piezas, accesorios, instalaciones de redes técnicas, tales como: relleno, pavimento, contenes, luminarias.

Según la zonificación sísmica propuesta en la NC: 46:2017 y el estudio de riesgo sísmico realizado con anterioridad, no es necesario tomar medidas sismorresistentes en la estructura.

#### **2.2.5. Combinación de cargas:**

Los puentes deben ser proyectados para cumplir satisfactoriamente las condiciones impuestas por los estados límites previstos en el proyecto, considerando todas las combinaciones de carga que puedan ser ocasionadas durante la construcción y el uso del puente. (Manual de diseño de puentes, 2003 )

En la norma NC 733: 2009, el acápite 10 perteneciente a los pasos peatonales no contempla combinaciones de cargas para los mismos, por lo tanto, se emplea la NC 450: 2006. De las combinaciones propuestas, se diseña mediante la siguiente:

$$1,2G + 1,4W + 0,5Q$$

Donde:

G: carga permanente



W: carga de viento

Q: carga de uso

## 2.2. Análisis de modelos de pasarelas peatonales:

Se analizan varias propuestas de pasarelas peatonales metálicas, de acuerdo a las tendencias nacionales e internacionales, con el fin de elaborar los modelos computacionales de las más favorables. Dadas las limitaciones geométricas (principalmente el cumplimiento de un gálibo limitante por debajo del tablero), conviene una solución cuyo mecanismo resistente se encuentre por encima del tablero, de este modo las tipologías posibles son:

- Puente arco con tablero intermedio
- Puente arco con tablero inferior
- Puente de armadura

Todas las propuestas mantienen los mismos parámetros de gálibo y requisitos para rampas y escaleras que responden a las normativas. La longitud libre está condicionada por la sección transversal de la vía, conformada por tres carriles por sentido de circulación con anchura de 3,30 m cada uno según la categoría de la vía, separador central new jersey de 0,82 m, cunetillas de 0,50 m a cada lado de la vía, barreras protectoras con base de 0,60 m para encaminar el flujo de cruce en la zona de emplazamiento de la pasarela y aceras de 2,0m para un total de 26,80 m. (Ver figura 2.4);

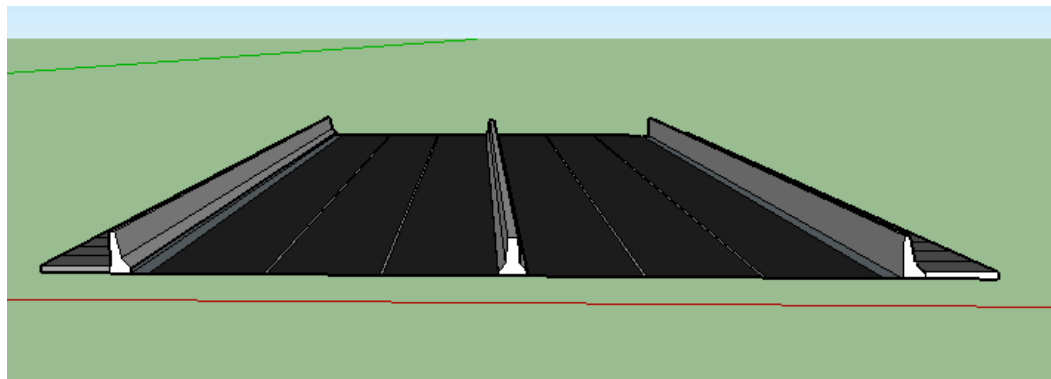


Figura 2.4 – Sección transversal de la vía (Elaboración Propia)

El tablero posee en todas las propuestas un ancho de 4,0 m, que corresponde a los valores de flujo peatonal futuro estimado por (Ortega, 2018) en estudios precedentes.

Tabla 2.3-Análisis de propuestas de pasarelas peatonales elevadas

<i>Propuestas:</i>	<i>Criterios:</i>				
	<i>Durabilidad</i>	<i>Economía</i>	<i>Estética</i>	<i>Constructibilidad</i>	<i>Integración con el medio ambiente</i>
Pasarela de armadura	En relación con el hormigón pretensado posee menor durabilidad, pero con buen mantenimiento.	Se encarece por los costos de mantenimiento. Tiene como ventaja la disminución de cargas muertas entre 40 y 50% reduciendo costos de cimentación. Beneficios económicos a largo plazo. Menores costos para ampliación de capacidad en caso de ser necesario	Aporta un toque moderno al corredor turístico si se conjuga con acabados modernos como paneles de policarbonato como cierre lateral, luces led en el tablero y cubierta.	Fácil construcción, rapidez de montaje, facilidad para unir diversos miembros a través de soldadura, tornillos y remaches, posibilidad de prefabricar los elementos, gran capacidad para laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas.	No contamina el medio ambiente, no requiere utilización de recursos naturales, se minimizan los residuos que afectan el entorno y el acero es 100 % reciclable
Pasarela metálica de arco con tablero intermedio			Resulta una estructura atractiva tanto para los peatones como para los vehículos que pasen bajo ella		
Pasarela metálica de arco con tablero inferior					

Pasarela de arco de hormigón pretensado con tablero intermedio	Mayor durabilidad en zonas expuestas	Como desventaja presenta que requiere inversión inicial y que el diseño estructural es más complejo y especializado. Si no se emplea adecuadamente aumenta los costos. Se necesita operarios especializados lo que aumenta el costo.	Se adecúa con la estética y los materiales constructivos de las edificaciones circundantes	Mayor dificultad en cuanto al proceso de construcción.	Contaminante a la naturaleza en comparación con las pasarelas metálicas
Pasarela de hormigón pretensado tipología viga		Irrumpe en la estética con formas voluptuosas.			

Teniendo en cuenta los aspectos analizados con anterioridad, se concluye que las pasarelas metálicas a pesar de poseer menor durabilidad, presenta ventajas en cuanto a costos de mantenimiento, facilidad constructiva en cuanto a la rapidez de montaje y adecuada integración con el medio ambiente al ser un material menos contaminante y generador de residuos. Por lo tanto, se realizan los modelos computacionales de las propuestas de pasarelas peatonales metálicas.

## 2.3. Diseño de propuestas seleccionadas

### 2.3.1. Propuesta I: Pasarela en forma de arco con tablero intermedio

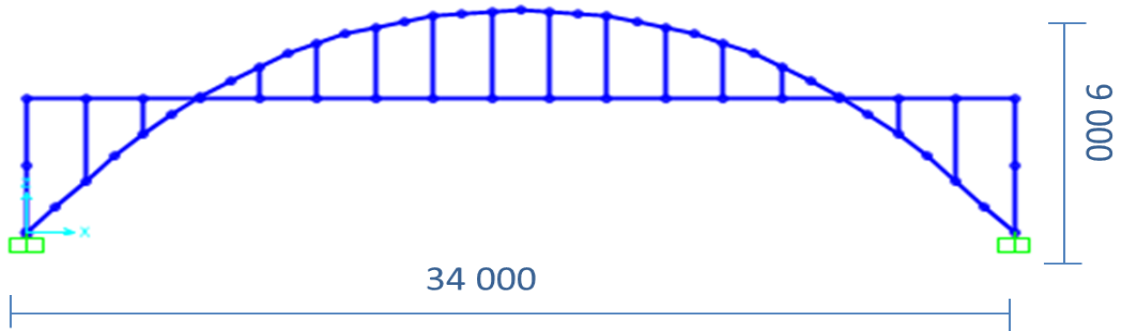
La tabla 2.4 recoge los parámetros principales para el diseño de la Propuesta I de la pasarela peatonal.

*Tabla 2.4- Parámetros de diseño:*

<i>Gálibo vertical</i>	<i>Esviaje</i>	<i>Longitud entre apoyos</i>	<i>Ancho libre de tablero</i>	<i>Pendiente vertical</i>
5.50 m	0°	34 m	4 m	2%

## Geometría

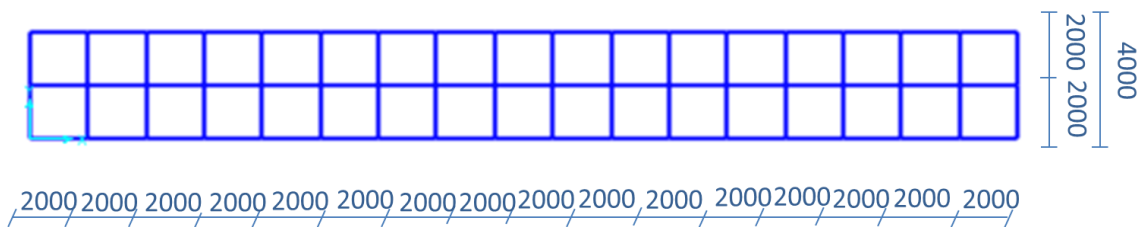
Tipológicamente la pasarela peatonal está constituida por un arco de 34,0 m de luz, y altura de 9,00 m sobre la vía; tablero intermedio con anchura de 4,0 m.



*Figura 2.5 – Geometría de la pasarela peatonal elevada en arco con tablero intermedio. (Elaboración propia)*

La conformación del arco se realizó en el software Matlab, a través de la introducción de puntos de interés para el diseño, grado del polinomio y su posterior ploteo. El procedimiento se detalla en el Anexo 3.

Desde la vista en planta, el tablero está conformado por tres vigas longitudinales, separadas a 2,0 m y 17 vigas transversales dispuestas a 2,0 m de separación entre ellas.



*Figura 2. 6– Vista en planta de la propuesta de pasarela I. (Elaboración propia)*



Figura 2.7 – Vista similar del entramado de viga propuesto. (Ortega, 2018)

## Materiales

Se emplea acero de alta resistencia, que responde a la norma ASTM A992 Grado 50 con tensiones de fluencia de  $F_y=50\text{ksi}$  (348Mpa) y  $F_u= 65\text{Ksi}$  (455Mpa). Se utiliza en el software SAP 2000, un modelo de material lineal elástico.

Property	Value
Material Name	A50
Material Type	Steel
Symmetry Type	Isotropic
Modulus of Elasticity (E)	1.999E+08
Poisson's Ratio (U)	0.3
Coeff of Thermal Expansion (A)	1.170E-05
Shear Modulus (G)	76903069
Weight per Unit Volume	76.9729
Mass per Unit Volume	7.849
Units	KN, m, C
Minimum Yield Stress, Fy	344737.9
Minimum Tensile Stress, Fu	448159.3
Effective Yield Stress, Fye	379211.7
Effective Tensile Stress, Fue	492975.2

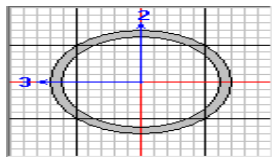
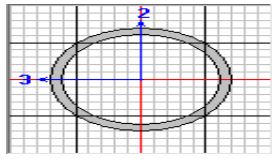
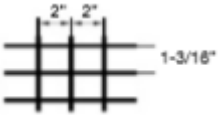
Figura 2. 8– Propiedades del acero A 50 (SAP 2000)

## Secciones

Se analiza en primera instancia, el comportamiento de la estructura con los perfiles conformados en frío por la empresa cubana METUNAS establecidos en su catálogo, con el fin de garantizar mayor economía en el proyecto. Sin embargo, se generan en el modelo tensiones mayores que las admisibles, a pesar de ser empleadas las secciones de mayor tamaño.

Luego de un proceso iterativo en el modelado de la estructura, se emplean las secciones reflejadas en la *Tabla 2.5*, que responden a la norma del American Institute of Steel Construction (AISC) (1993); que se basa en el diseño de acero por factores de carga y resistencia (LRFD). Para el diseño del modelo computacional en SAP 2000, se utilizan elementos finitos tipo frame.

*Tabla 2.5 – Secciones de los elementos estructurales (Elaboración propia)*

<i>Descripción</i>	<i>Simbología</i>	<i>Vista previa</i>	<i>Características</i>
Vigas longitudinales	PX6		Diámetro exterior: 0,1683 cm Espesor de la pared: 0,011 cm
Vigas transversales	PX6	Igual que el anterior	Igual que el anterior
Columnas	PX6	Igual que el anterior	Igual que el anterior
Arco	PX8		Diámetro exterior: 0,2191 cm Espesor de la pared: 0,0127 cm
Péndolas	PX4	Igual que el anterior	Diámetro exterior: 0,014cm Espesor de la pared: 0,006 cm
Tablero	Rejilla irving		

Los accesos a la pasarela y el tablero, están compuestos por rejilla Irving con solera rectangular y superficie dentada antiderrapante, ideal para estructuras expuestas a

condiciones climáticas, de fácil instalación y excelente relación carga-peso. (Ver figura 2.9)

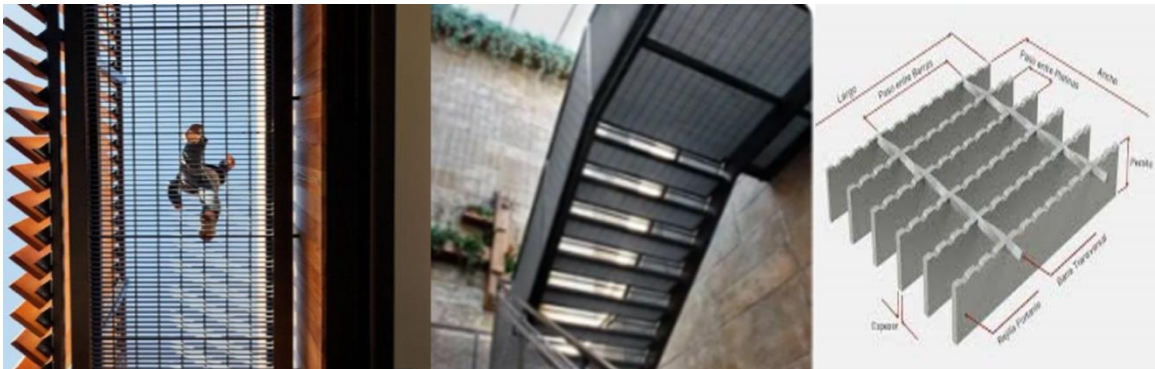


Figura 2.9– Tablero y accesos compuestos por rejilla Irving (Elaboración propia)

### Vínculos

Las uniones entre los elementos que conforman la pasarela son rígidas (empotramientos) mediante la utilización de soldaduras y pernos.

### Cargas

Sobre el modelo actúan cargas permanentes, de uso y de viento, resumidas en la siguiente tabla:

Tabla 2. 6 Cargas aplicadas al modelo (Elaboración propia)

<i>Cargas</i>		
<i>Permanentes</i>	<i>Uso</i>	<i>Viento</i>

<p>Corresponden al peso propio de los elementos, es generado por el software a razón de 78.50kN/m<sup>3</sup> de peso propio para el acero.</p> <p>Tablero Rejilla Irving: 2,55 kN/m<sup>2</sup>.</p>	<p>Carga característica accidental distribuida de 4,50kN/m<sup>2</sup> en el tablero. (NC 733:2009).</p> <p>Valor de 0,70 kN/m para barandas (NC: 284: 2003:), se aplica en las vigas de borde.</p>	<p>Carga de viento en dependencia del tipo de elemento</p> <p>Arco: <math>0,3580 \frac{kN}{m}</math></p> <p>Péndolas: <math>0,2231 \frac{kN}{m}</math></p> <p>Vigas longitudinales: <math>0,4539 \frac{kN}{m}</math></p> <p>Columnas: <math>0,449 \frac{kN}{m}</math></p> <p>El procedimiento se detalla en el Anexo 2.</p>
---	---	---

El tablero se encuentra apoyado en cuatro bordes, sobre las vigas longitudinales y transversales ubicadas a la misma altura. Por lo tanto, la distribución de cargas del tablero se produce de la siguiente forma:

Cada paño presenta dimensiones de 2,0 x 2,0 m, por lo tanto:  $L_l / L_c < 2$  (el tablero presenta flexión en las dos direcciones). El área tributaria para la viga V1 está limitada por una distancia equivalente a la mitad de la luz más corta, debido al ángulo de 45° que se produce aproximadamente en la línea de rotura, se obtiene una carga distribuida de forma triangular sobre las vigas de apoyo de la dirección de la luz corta. El área tributaria A2 para la viga V2 por las mismas razones anteriores, está limitada por una distancia equivalente a la mitad de la luz corta, obteniéndose una carga distribuida de forma trapezoidal sobre las vigas de apoyo en la dirección de la luz larga. (Figueroa & Pino, 2015) (Ver figura 2.10)

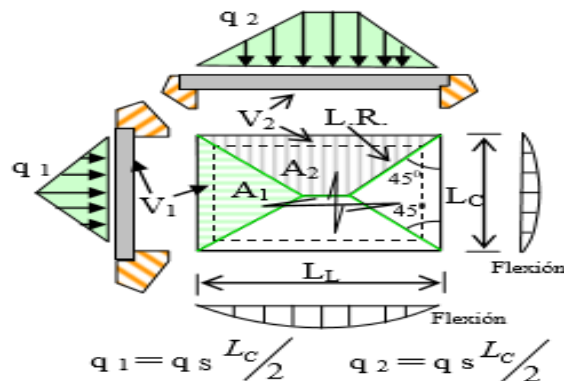




Figura 2.10: Distribución de cargas en el tablero (Figuroa & Pino, )

Las vigas interiores son más críticas al recibir las cargas que distribuyen los paños contiguos, como se refleja en la Figura 2. 11- Distribución de las vigas de borde y las vigas más críticas en el tablero

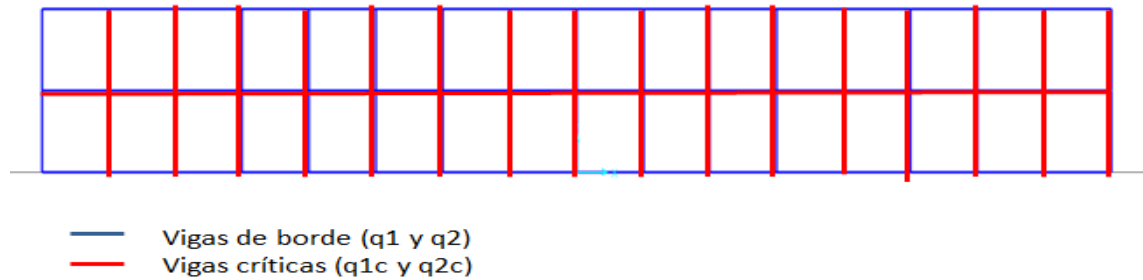


Figura 2.11- Distribución de las vigas de borde y las vigas más críticas en el tablero

El cálculo de las cargas distribuidas por el tablero a las vigas se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.7- Distribución de cargas a vigas. (Elaboración propia)

Cargas	Vigas de borde	Vigas críticas
Permanentes	$q_1 = q_2 = q_s \cdot \frac{L_c}{2} = \frac{2,55kN}{m^2} \cdot 1m$ $= \frac{2,55kN}{m}$	$q_{1c} = q_{c2} = 2 \cdot q_s \cdot \frac{L_c}{2} = \frac{2,55kN}{m^2} \cdot 2m$ $= \frac{5,1kN}{m}$
Uso	$q_1 = q_2 = q_s \cdot \frac{L_c}{2} = \frac{4,5kN}{m^2} \cdot 1m$ $= \frac{4,5kN}{m}$	$q_{1c} = q_{c2} = 2 \cdot q_s \cdot \frac{L_c}{2} = \frac{4,5kN}{m^2} \cdot 2m$ $= \frac{9,0kN}{m}$

**Vínculos:**

Las uniones entre los elementos que conforman la pasarela son rígidas (empotramientos) mediante la utilización de soldaduras y pernos.

### Diseño de los accesos:

El procedimiento de diseño de los accesos se detalla en el Anexo 3, se adjuntan planos en Autocad.

#### 2.3.2. Propuesta II: Pasarela en arco con tablero inferior

Tabla 2.8- Parámetros de diseño:

Gálibo vertical	Esviaje	Longitud entre apoyos	Ancho libre de tablero	Pendiente vertical
5.50 m	0°	34 m	4 m	2%

#### Geometría:

El modelo está constituido por un arco de 34,0 m de luz y 5,0 m de altura; tablero de 4,0 m de ancho y gálibo de 5,5m. (Ver figura 2.16- Geometría de la pasarela en arco con tablero inferior)

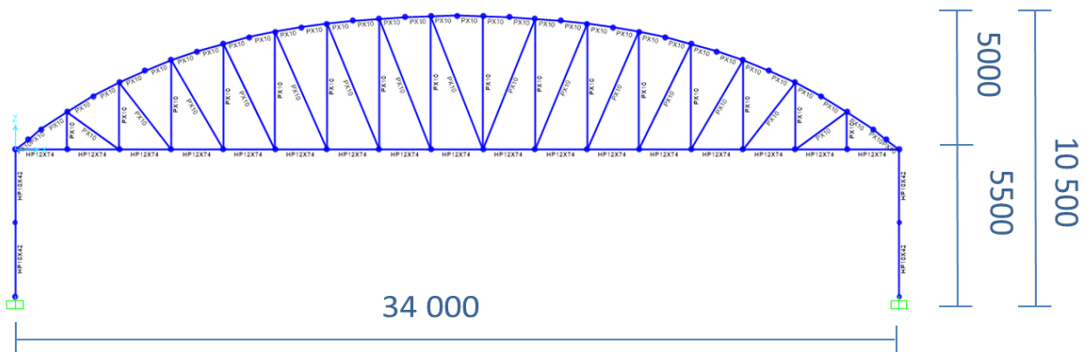


Figura 2.12- Geometría de la pasarela en arco con tablero inferior. (Elaboración propia)

La vista en planta del tablero presenta iguales geometría que la propuesta anterior.

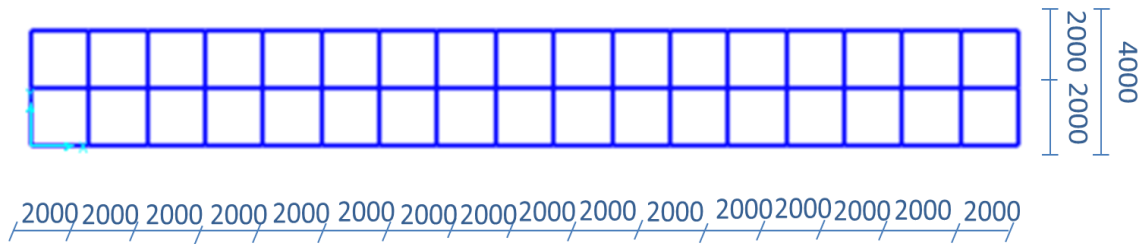


Figura 2. 13– Vista en planta de la propuesta de pasarela II. (Elaboración propia)

El procedimiento para la conformación del arco es similar a la pasarela peatonal en arco con tablero intermedio (Ver Anexo 3).

### Materiales

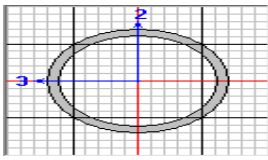
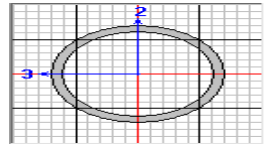
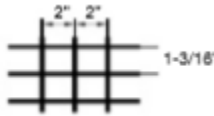
Se emplea acero de alta resistencia que responde a la norma ASTM A992 grado 50 con tensiones de fluencia de  $F_y=50\text{ksi}$  (348Mpa) y  $F_u= 65\text{Ksi}$  (455Mpa). Modelo de material lineal elástico.

### Secciones

Las secciones empleadas son importadas de la base de datos el software, que responde a la norma (AISC). De igual forma, se analizaron primeramente las secciones ofrecidas por el catálogo METUNAS, con el fin de garantizar la economía. Sin embargo las tensiones superan las admisibles, por lo tanto se importan de la AISC. Para el diseño del modelo computacional en SAP 2000, se utilizan elementos finitos tipo frame.

Tabla 2.9 – Secciones de los elementos estructurales (Elaboración propia)

Descripción	Simbología	Vista previa	Características
Vigas longitudinales	HP10X42		Outside height [ t3 ] <input type="text" value="0.2464"/> Top flange width [ t2 ] <input type="text" value="0.2559"/> Top flange thickness [ tf ] <input type="text" value="0.0107"/> Web thickness [ tw ] <input type="text" value="0.0105"/> Bottom flange width [ t2b ] <input type="text" value="0.2559"/> Bottom flange thickness [ tfb ] <input type="text" value="0.0107"/>
Vigas transversales	HP10X42	Igual que el anterior	Igual que el anterior

Columnas	HP10X42	Igual que el anterior	Igual que el anterior
Arco	PX8		Diámetro exterior: 0,2191 cm Espesor de la pared: 0,0127 cm
Péndolas	PX2		Diámetro exterior: 0,06 cm Espesor de la pared: 0,003
Tablero	Rejilla irving		

### Cargas:

Las cargas se calcularon de igual forma que la propuesta anterior, pues presenta el mismo tipo de tablero y las cargas permanentes y de uso aplicadas al tablero no varían, por lo tanto los valores son iguales a los reflejados en la Tabla 2.7. En caso de las cargas de viento se detalla el análisis en el Anexo 2.

### Vínculos:

Las uniones entre los elementos que conforman la pasarela son rígidas (empotramientos) mediante la utilización de soldaduras y pernos.

### 2.3.3. Propuesta III: Pasarela peatonal de armadura de doble celosía

Tabla 2.10- Parámetros de diseño:

<i>Gálibo vertical</i>	<i>Esviaje</i>	<i>Longitud entre apoyos</i>	<i>Ancho libre</i>	<i>Pendiente vertical</i>
5.50 m	0°	30 m	4 m	2%

### Geometría

El diseño corresponde a una armadura vertical de 30m de longitud, 5,5m de gálibo y altura total de 8,50 m.

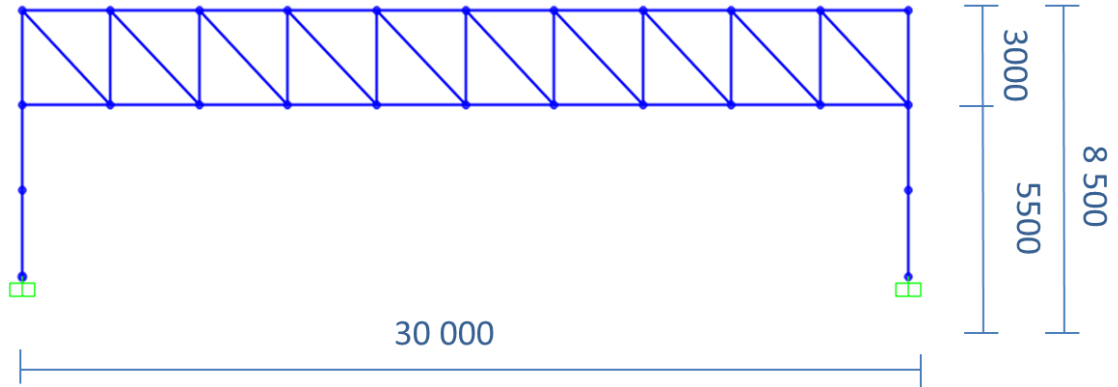


Figura 2.14- Geometría de la pasarela de arco con tablero inferior

Desde la vista en planta, el tablero está conformado por tres vigas longitudinales, separadas a 2,0 m y 11 vigas transversales dispuestas a 3,0 m de separación entre ellas.

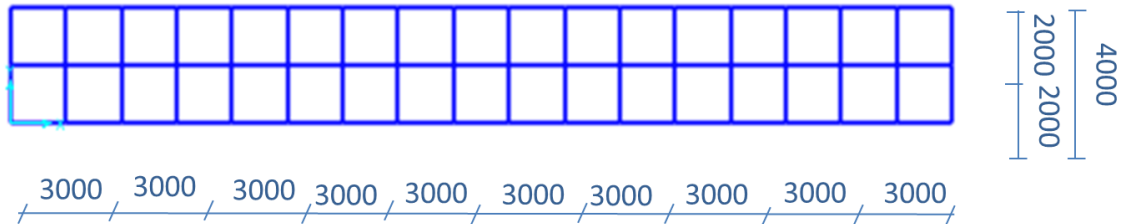


Figura 2. 15– Vista en planta de la propuesta de pasarela III. (Elaboración propia)

## Secciones

La solución de tablero es de WPC, constituido por tablas de 2,0m de largo, 13,4 cm de ancho y 2,2 cm de espesor. Las tablas son macizas y cada una pesa aproximadamente 8 kg. El peso por  $m^2$  instalado es de 15 kg. El peso por  $m^2$  con kit de instalación es de aproximadamente 25 kg, es decir  $0,25 \text{ kN/ m}^2$ . (Ver figura 2.24). Para el diseño del modelo computacional en SAP 2000, se utilizan elementos finitos tipo frame.



Figura 2.16- Pasarela peatonal de WPC del Hotel Internacional

Las secciones empleadas en la armadura son importadas de la base de datos el software. De igual forma, se analizaron primeramente las secciones ofrecidas por el catálogo METUNAS, con el fin de garantizar economía.

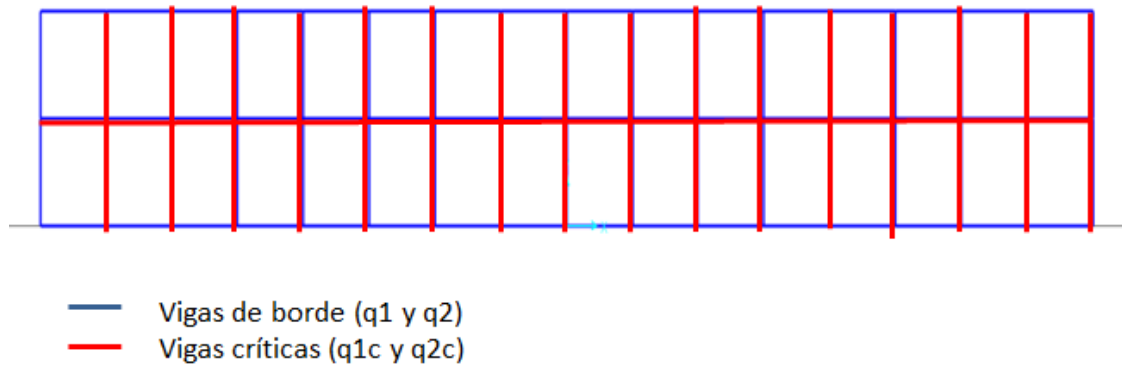
Tabla 2.11 – Secciones de los elementos estructurales (Elaboración propia)

Descripción	Simbología	Vista previa	Características												
Vigas longitudinales	HP8X36		<table border="1"> <tr> <td>Outside height ( t3 )</td> <td>0,2037</td> </tr> <tr> <td>Top flange width ( t2 )</td> <td>0,2071</td> </tr> <tr> <td>Top flange thickness ( tf )</td> <td>0,0113</td> </tr> <tr> <td>Web thickness ( tw )</td> <td>0,0113</td> </tr> <tr> <td>Bottom flange width ( t2b )</td> <td>0,2071</td> </tr> <tr> <td>Bottom flange thickness ( tfb )</td> <td>0,0113</td> </tr> </table>	Outside height ( t3 )	0,2037	Top flange width ( t2 )	0,2071	Top flange thickness ( tf )	0,0113	Web thickness ( tw )	0,0113	Bottom flange width ( t2b )	0,2071	Bottom flange thickness ( tfb )	0,0113
Outside height ( t3 )	0,2037														
Top flange width ( t2 )	0,2071														
Top flange thickness ( tf )	0,0113														
Web thickness ( tw )	0,0113														
Bottom flange width ( t2b )	0,2071														
Bottom flange thickness ( tfb )	0,0113														
Vigas transversales	HP8X36	Igual que el anterior	Igual que el anterior												
Columnas	HP8X36	Igual que el anterior	Igual que el anterior												
Diagonales	HP8X36	Igual que el anterior	Igual que el anterior												
Cordones superiores	HP8X36	Igual que el anterior	Igual que el anterior												
Montantes	HP8X36	Igual que el anterior	Igual que el anterior												

Tablero	WPC	
---------	-----	---

### Cargas:

Actúan sobre la pasarela cargas permanentes, de uso y de viento, de acuerdo a las secciones y solución de tablero empleadas. Los paños tienen dimensión de 2 x 3m y trabajan en dos direcciones. La distribución de vigas de borde y vigas críticas el tablero se muestra en la *Figura 2.25*. Distribución de las vigas de borde y las vigas más críticas en el tablero.



*Figura 2.17- Distribución de las vigas de borde y las vigas más críticas en el tablero.*

### Cargas permanentes:

El tablero de WPC tiene un peso de 0,25 kN/m<sup>2</sup> con kit instalado

- Carga permanente del tablero en cordones inferiores de las cerchas:

$$q_1 = q_2 = q_s \cdot \frac{L_c}{2} = \frac{0,25\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{2\text{m}}{2} = \frac{0,25\text{kN}}{\text{m}}$$

- Carga permanente del tablero en vigas críticas:

$$q_{1c} = q_{2c} = 2 \cdot q_s \cdot \frac{L_c}{2} = 2 \cdot \frac{0,25\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{2\text{m}}{2} = \frac{0,5\text{kN}}{\text{m}}$$

### **Cargas de uso:**

- Carga de uso en cordones inferiores de las cerchas:

$$q_1 = q_2 = q_s \cdot \frac{L_c}{2} = \frac{4,5\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{2\text{m}}{2} = \frac{4,5\text{kN}}{\text{m}}$$

- Carga de uso en vigas críticas:

$$q_{1c} = q_{2c} = 2 \cdot q_s \cdot \frac{L_c}{2} = 2 \cdot \frac{4,5\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{2\text{m}}{2} = \frac{9,0\text{kN}}{\text{m}}$$

- **Carga de viento:**

El coeficiente de forma depende del elemento, por lo tanto la carga de viento varía. El procedimiento de cálculo se detalla en el Anexo 2

- Cordones superiores:  $0,3\text{kn/m}^2$
- Montantes:  $0,3\text{kn/m}^2$
- Cordones inferiores:  $0,3\text{kn/m}^2$
- Columnas:  $0,449\text{kn/m}^2$

### **Vínculos**

Las uniones entre los elementos que conforman la pasarela son rígidas (empotramientos) mediante la utilización de soldaduras y pernos.

### **Acabados:**

Se propone como acabado sistema de luces LED en el tablero y paneles de policarbonato en los cierres aportando modernidad y mayor estética a la propuesta. Se muestran acabados similares en la siguiente figura:





*Figura 2.17- Distribución de las vigas de borde y las vigas más críticas en el tablero.*

### **Conclusiones Parciales**

- No es necesario tomar medidas sismorresistentes en la estructura por localizarse en una zona de peligro sísmico muy bajo sin efectos dañinos para las construcciones.
- Las pasarelas peatonales que presentan mayor durabilidad, economía e integración con el medio ambiente, son las pasarelas metálicas.

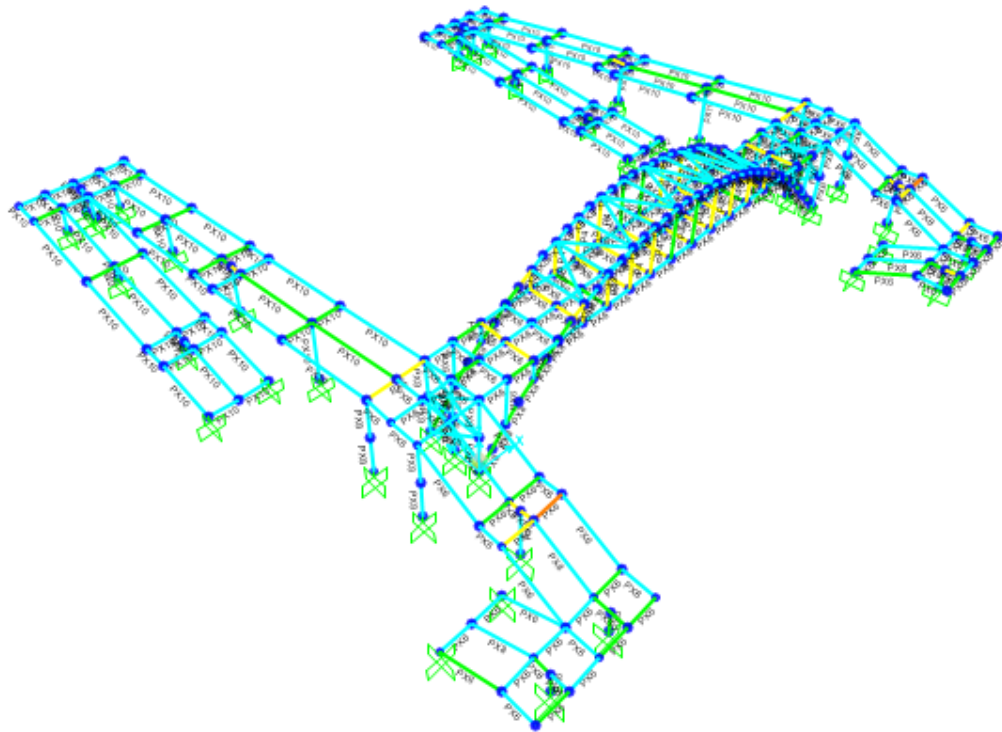
## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA MODELACIÓN

Se realiza un análisis de los resultados obtenidos en cada una de las propuestas en cuanto a deformaciones, tensiones y economía con el objetivo de escoger el modelo más eficiente.

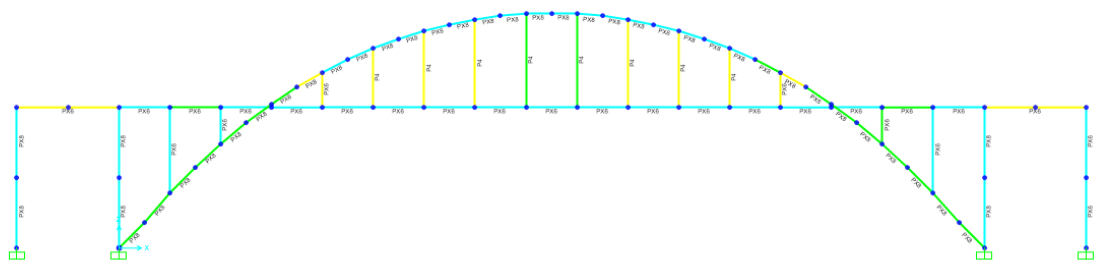
### 3.1. Análisis de tensiones

#### 3.1.1. Gráficos de tensiones

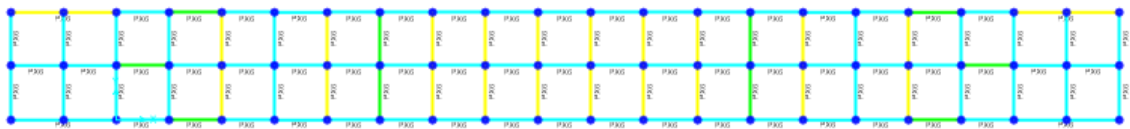
Propuesta 1: Pasarela peatonal elevada en arco con tablero intermedio



*Figura 3.1-Gráfico de tensiones en el modelo 3D*

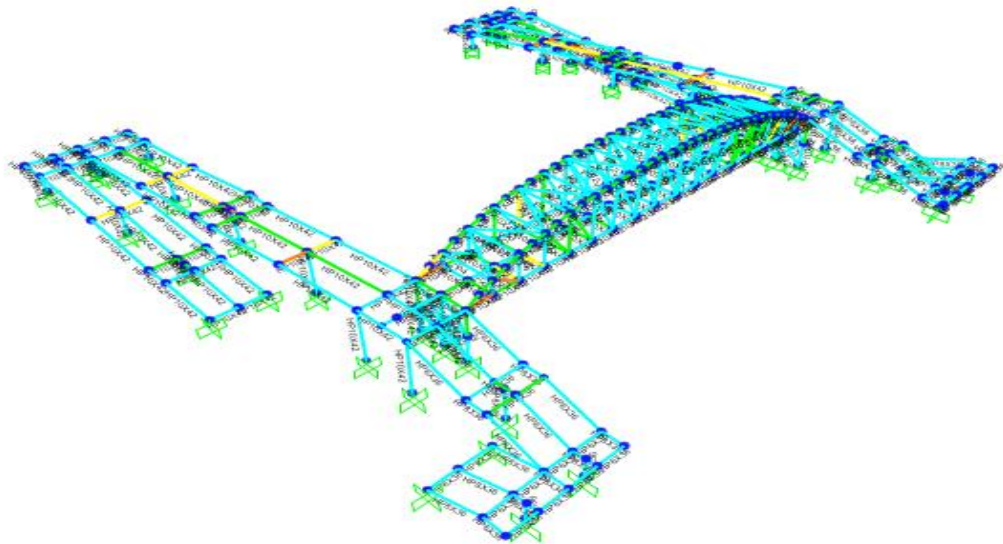


*Figura 3.2- Gráfico de tensiones en plano XZ*

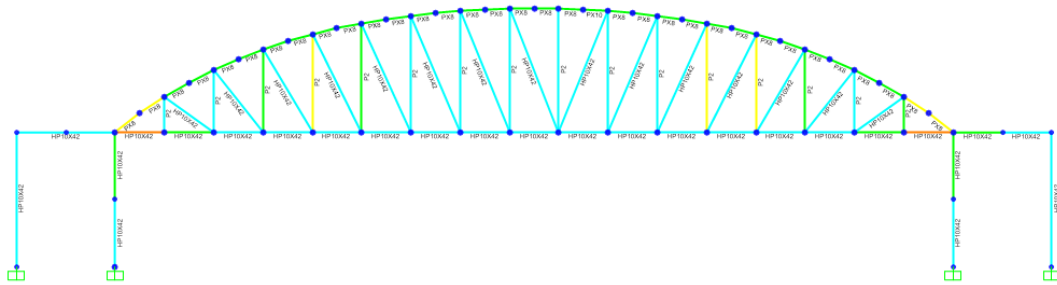


*Figura 3.3- Gráfico de tensiones en el tablero*

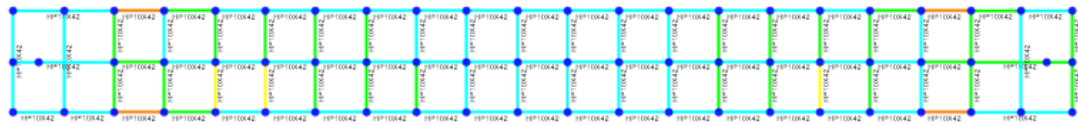
Propuesta 2: Pasarela peatonal elevada en arco con tablero inferior



*Figura 3.4- Gráfico de tensiones en el modelo 3D*

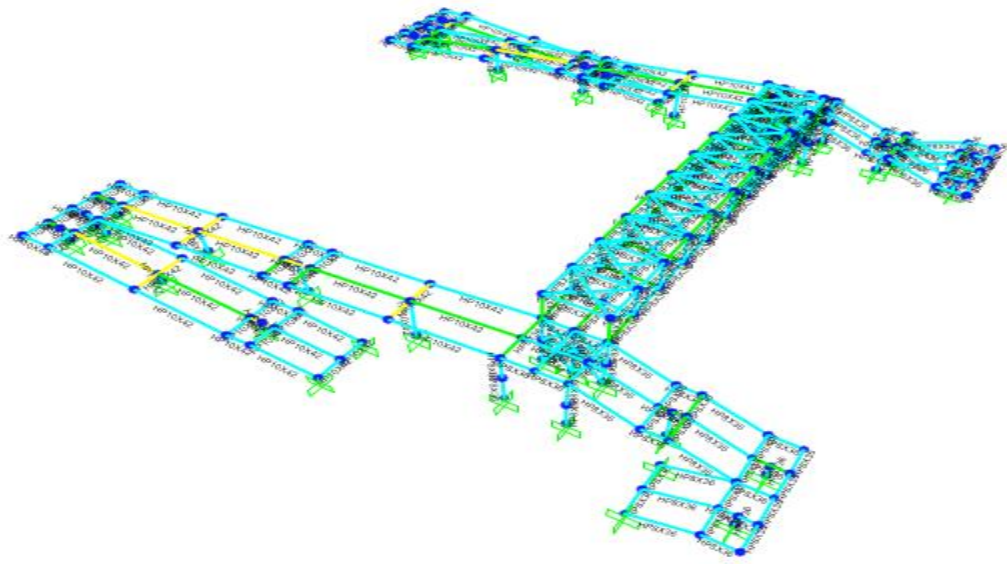


*Figura 3.5- Gráfico de tensiones en el plano XZ*



*Figura 3.6-Gráfico de tensiones en el tablero*

Propuesta 3: Pasarela peatonal elevada de armadura



*Figura 3.7- Gráfico de tensiones en el modelo 3D*

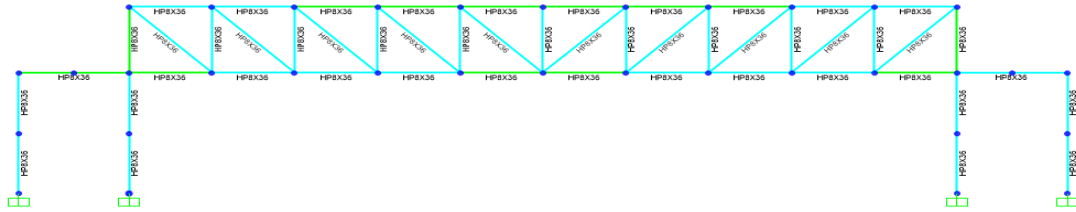


Figura 3.8 -Gráfico de tensiones en plano XZ

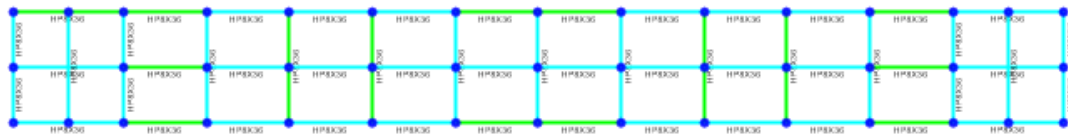


Figura 3.9 -Gráfico de tensiones en el tablero

### 3.1.2. Análisis de los coeficientes de ratio

Para conocer la demanda a la que están sometidos los elementos que componen la estructura del puente se ofrece el coeficiente de ratio (tensión actuante entre la tensión admisible del material) para cada estado de carga.

Tabla 3.1- Análisis de las tensiones (Elaboración Propia)

	<i>Cantidad total de elementos</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>
<i>Propuesta arco con tablero intermedio</i>	452	0,388008139	0,053790658
<i>Propuesta arco con tablero inferior</i>	492	0,392096	0,0458
<i>Propuesta de armadura</i>	380	0,279236	0,040966

### Propuesta 1:

Se obtuvo como resultados que de los 452 elementos de los que está compuesta la propuesta elaborada en SAP 2000, el 61% de los elementos trabajan al 50% de su capacidad real; 174 elementos del total superan esta capacidad y sólo 7 presentan ratios superiores a 0,9.

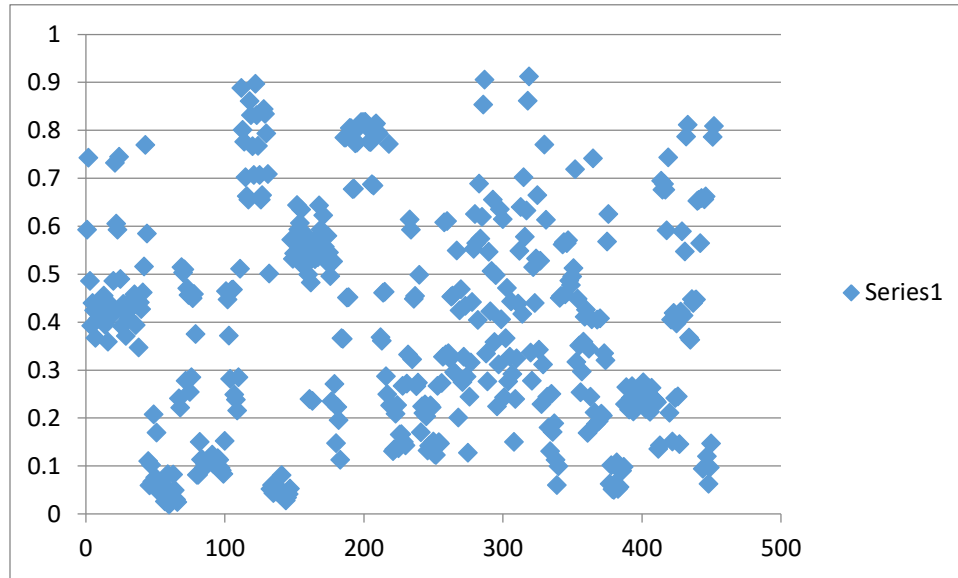


Figura 3.10 -Gráfico de dispersión del coeficiente de ratio

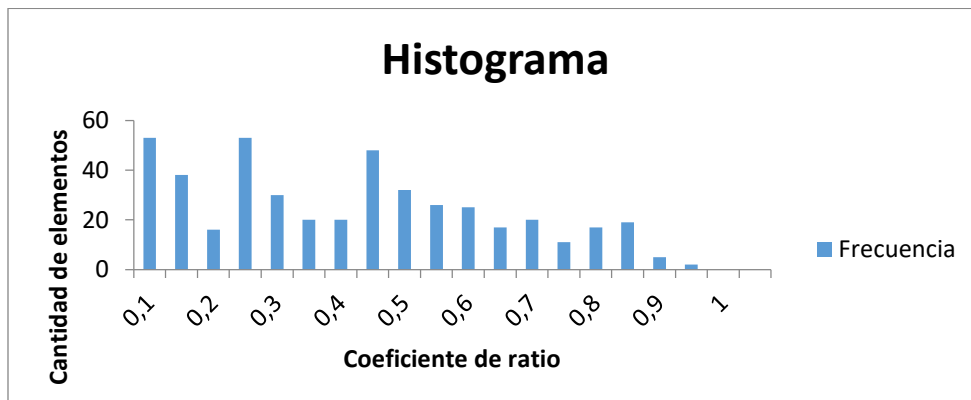


Figura 3.11 –Histograma del coeficiente de ratio

**Propuesta 2:**

Como resultado de las cargas permanentes, de uso y de viento sobre la estructura de la pasarela, se obtiene que de los 492 elementos el 66%, está trabajando a 50% de la capacidad real. Sólo 19 elementos poseen un ratio superior a 0,9.

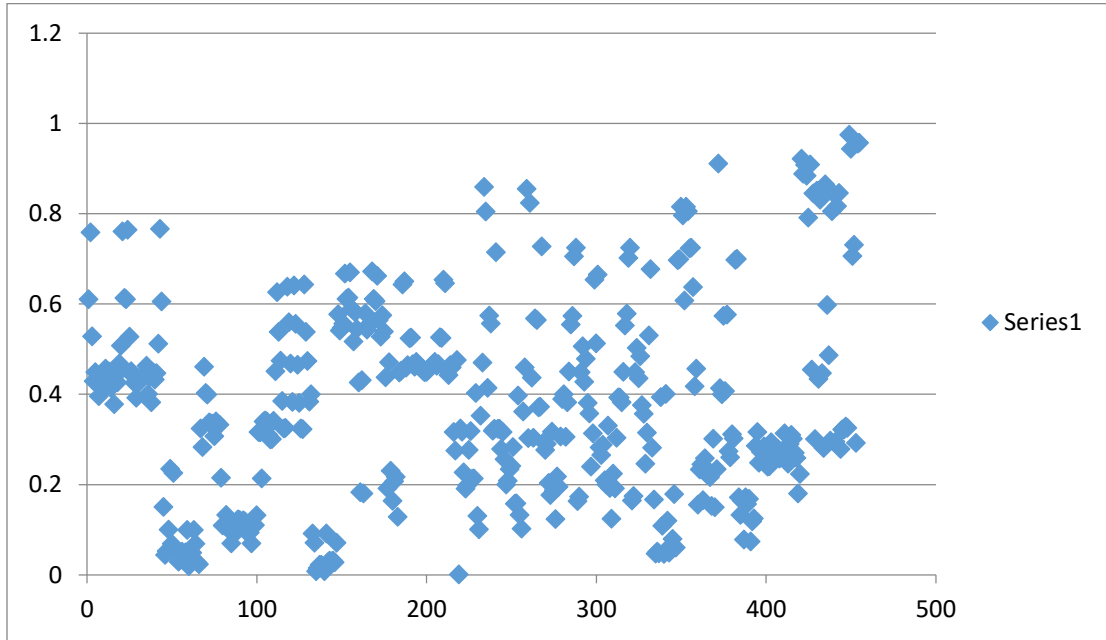


Figura 3.12 -Gráfico de dispersión del coeficiente de ratio

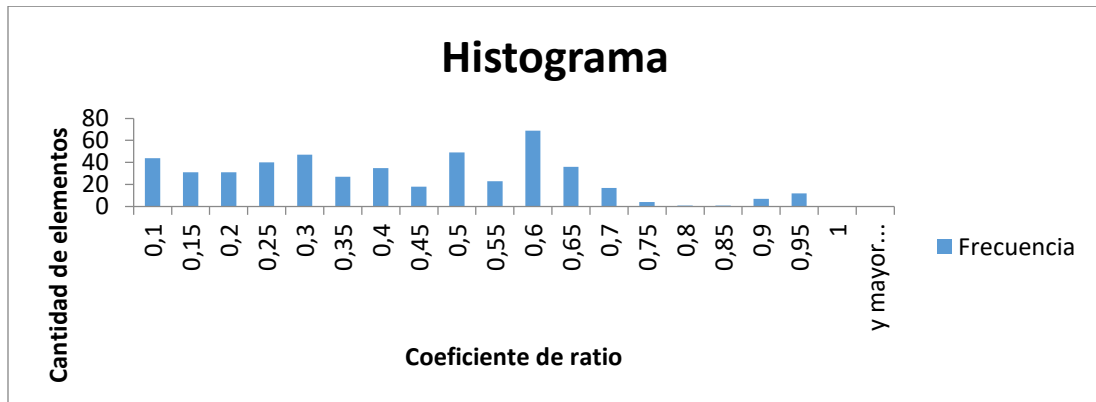


Figura 3.13 –Histograma del coeficiente de ratio

### Propuesta 3:

De los 380 elementos que componen la estructura, el 80% posee un coeficiente de ratio menor a 0,5; sólo 73 elementos superan este valor. Por lo tanto, se demuestra que la

mayoría de los elementos trabajan por debajo del 50% de la capacidad real. El mayor de ratio alcanzado es de 0,8730

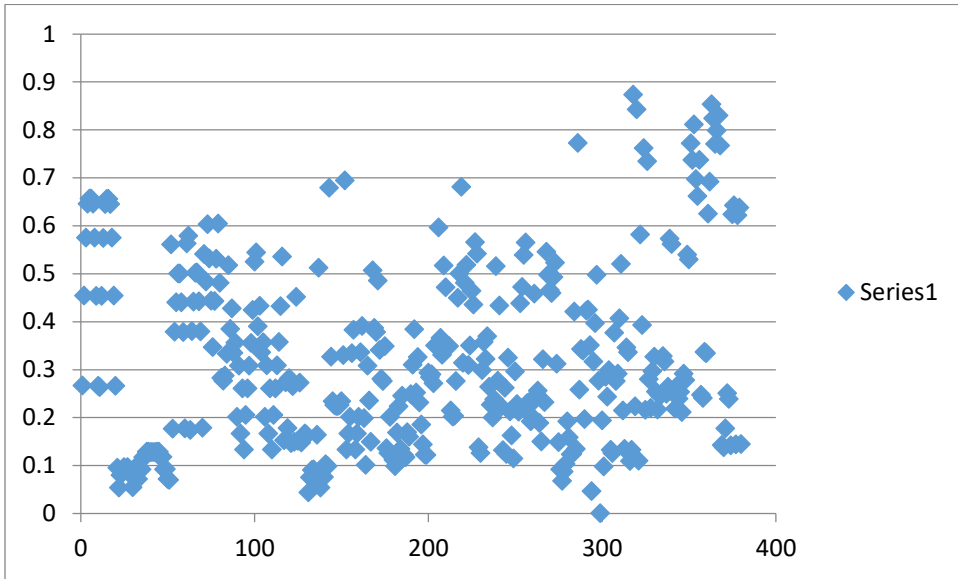


Figura 3.14 -Gráfico de dispersión del coeficiente de ratio

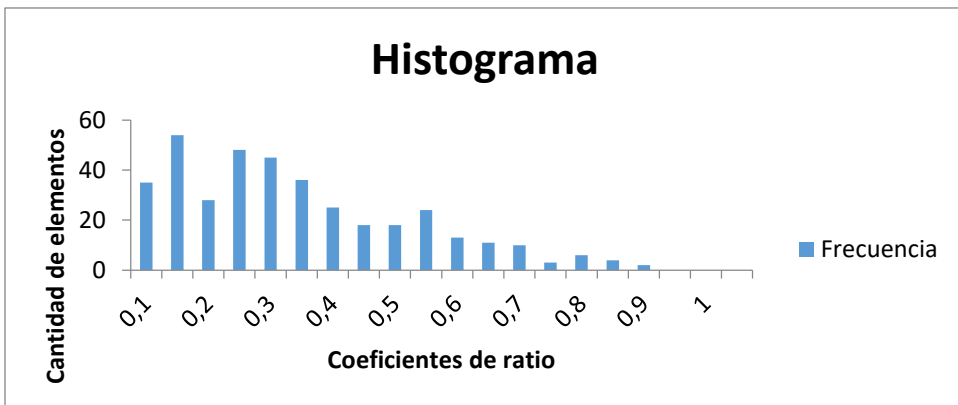


Figura 3.15 –Histograma del coeficiente de ratio

En cuanto a comportamiento de tensiones, la propuesta con mejor desempeño es la pasarela peatonal elevada en arco con tablero intermedio, al presentar sólo el 61% de sus elementos trabajando por debajo del 50% de la capacidad máxima. Existe menos sobredimensionamiento de las secciones y



### 3.2. Análisis de las deformaciones.

Propuesta 1

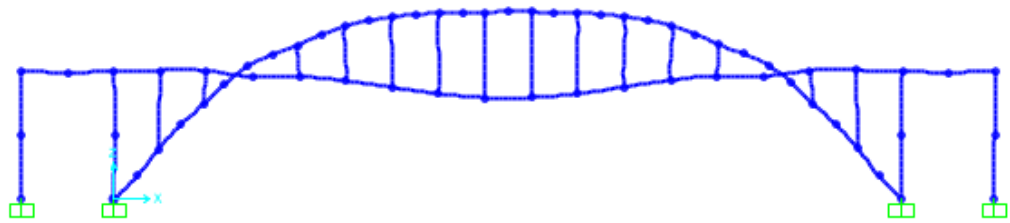


Figura 3.10- Gráfico de deformaciones bajo combinación de cargas

Propuesta 2

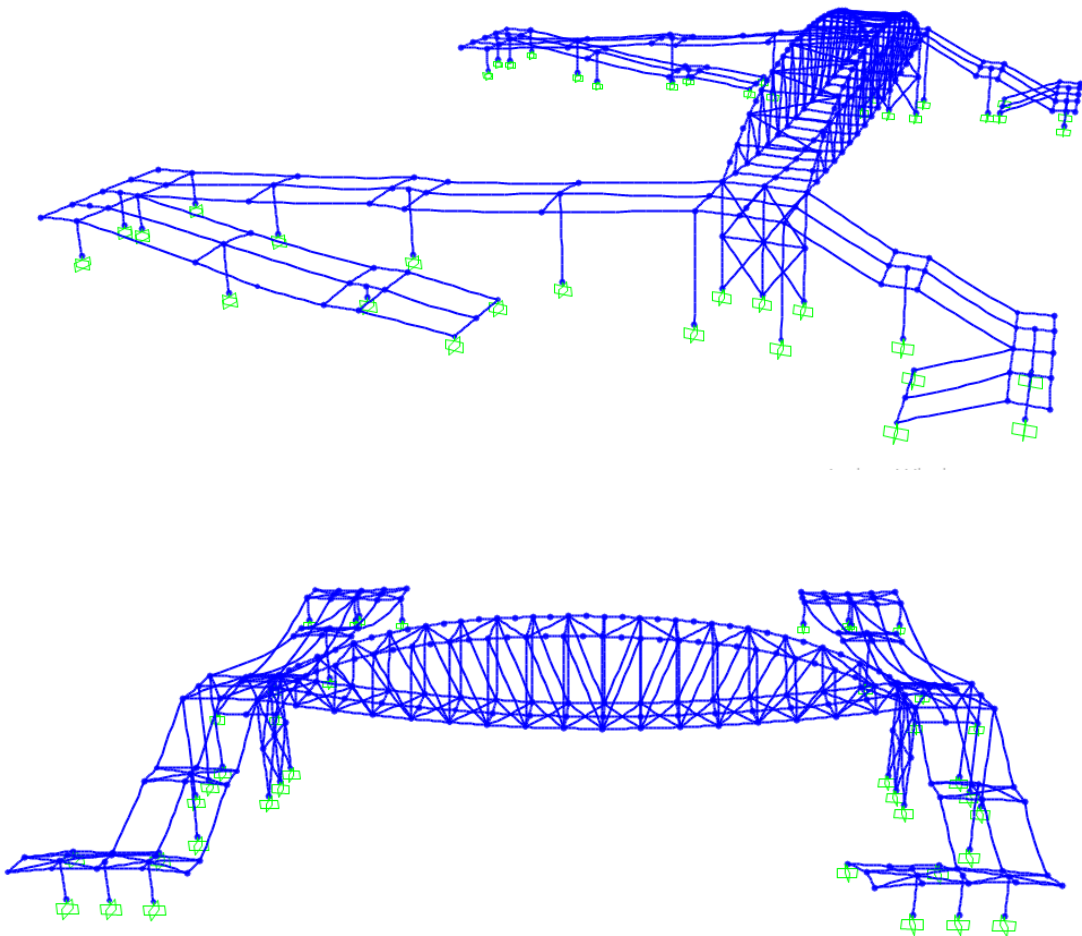


Figura 3.11- Gráficos de deformaciones en el modelo 3D

Propuesta 3

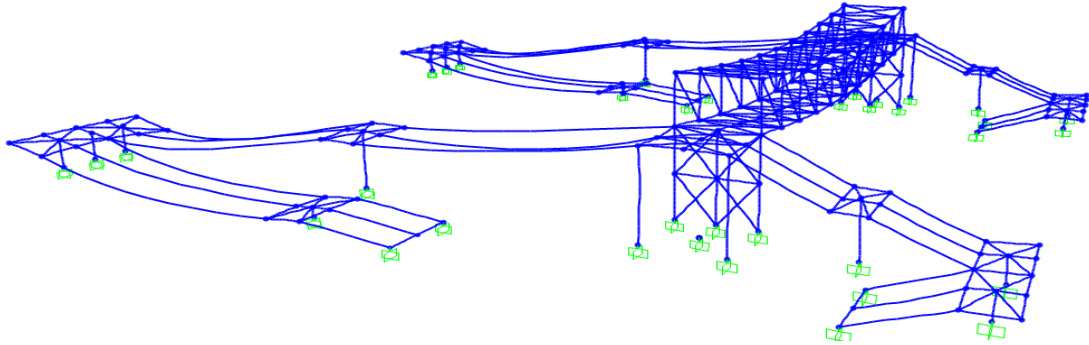


Figura 3.12-Gráfico de deformaciones bajo combinación de cargas

Se analizan las deformaciones en los puntos más desfavorables de cada una de las propuestas. Siendo estos:

- CL: centro de la luz
- CR: Punto más crítico de las rampas
- CE: Punto más crítico de las escaleras

Tabla 3.2- Análisis de las deformaciones (Elaboración Propia)

	<i>Propuesta 1</i>			<i>Propuesta 2</i>			<i>Propuesta 3</i>		
	<i>CL</i>	<i>CR</i>	<i>CE</i>	<i>CL</i>	<i>CR</i>	<i>CE</i>	<i>CL</i>	<i>CR</i>	<i>CE</i>
U1	0.0003	-0,000021	-0.0003	-0,0003	0.000028	-0.0025	0,003	0.0008	0.0012
U2	0,0000 92	0,000092	0,0012	0,0000925	0,0001	0,001	0,0027	-0,0049	0,0011
U3	-0,026	-0,0015	-0,0028	-0,0436	-0,0021	-0,0023	-0,0326	-0,0391	-0,0035

De acuerdo con lo planteado en la tabla 15.1 de la NC 733: 2009, las propuestas cumplen con las flechas máximas permisibles. Sin embargo la propuesta que presenta menores deformaciones es la número uno.

### 3.3. Análisis económico

La economía de las propuestas de pasarelas peatonales, está determinada por el peso de los elementos que las componen.; que se determina a través del software SAP 2000 y se refleja en la siguiente tabla:

*Tabla 3.3- Peso propio de los modelos de pasarelas elaborados (Elaboración Propia)*

<i>Peso de la estructura (KN)</i>	
Propuesta 1	2964,041
Propuesta 2	3055,834
Propuesta 3	1119,67

En cuanto al aspecto económico, se concluye que la propuesta de pasarela peatonal elevada de armadura constituye la mejor opción, constituyendo aproximadamente el 38% del peso del resto de los modelos elaborados. De realizarse las acciones de acabado propuestas, su costo aumenta relativamente, si n embargo en relación con las propuestas de pasarelas en arco se mantiene inferior.

### 3.4. Análisis de constructibilidad.

La constructibilidad define la facilidad y la eficiencia con las cuales se pueden construir las estructuras. Mientras más construible sea, su costo será menos incierto.

En este aspecto se tiene en cuenta el transporte de los elementos hasta un taller de cortes y su posterior traslado por carretera hacia la zona dispuesta para almacenaje y montaje de las secciones en las cercanías al emplazamiento; que pudiera situarse en el aeropuerto viejo de Varadero. El proceso de montaje difiere de acuerdo a la tipología de la pasarela, siendo el arco el elemento de mayor complejidad para montaje al requerir soportes

horizontales nivelados y dispuestos a precisión en relación al grado de curvatura del elemento a conformar. El montaje de las celosías que conforman la pasarela de armadura es menos complejo.

### **3.5. Resultados del análisis comparativo.**

La pasarela peatonal elevada de armadura constituye la propuesta más eficiente de los modelos computacionales elaborados. A pesar de poseer mayor cantidad de elementos trabajando a menos del 50% de la capacidad real que el resto de las variantes, presenta menor cantidad de elementos, por tanto peso total de la estructura y las deformaciones se encuentran en los rangos admisibles. Presenta solución de cubierta que provee de confort a los peatones y las soluciones de acabado propuestas aportan estética y modernidad al corredor turístico.

#### **Conclusiones parciales**

- Las propuestas uno, dos y tres de pasarelas peatonales elevadas, elaboradas en SAP 2000 , presentan el 61, 66 y 80% respectivamente de sus elementos trabajando por debajo del 50% de su capacidad real.
- Desde el aspecto económico, la propuesta de mejor desempeño es la pasarela peatonal de armadura, cuyo peso constituye el 31% del peso del resto de los modelos elaborados.
- Luego de los análisis comparativos tenso-deformacionales, economía y constructibilidad, se concluye que la propuesta más eficiente es la pasarela peatonal elevada de armadura.

## CONCLUSIONES

- Se justifica el empleo de pasarela peatonal en la zona de estudio por la presencia de altos volúmenes peatonales y la existencia de ruta escolar cruzando una autopista.
- Las pasarelas metálicas constituyen mejores propuestas en cuanto a economía, durabilidad, constructibilidad e integración con el medio ambiente.
- La pasarela peatonal elevada de armadura constituye el modelo más efectivo para dar solución a la problemática

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las autoridades del MINTUR, IPF; PNR u otras relacionadas con la vialidad y movilidad a nivel municipal y provincial abordar con mayor profundidad la problemática peatonal en la zona de estudio con el fin de contribuir al confort de la población.
- Se insta a la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, continuar investigando en el fenómeno peatonal en el nudo de entrada a Varadero y dar continuidad a la solución propuesta con la elaboración de planos de detalles y acciones que respondan a la etapa del proceso inversionista.

## BIBLIOGRAFÍA

1. (AASHTO), A. A. o. S. H. a. T. O. (2001). A POLICY on GEOMETRIC DESIGN of HIGHWAYS and STREETS. U.S.A.
2. ALFONSO, I., et al. (2015). Potencialidades computacionales del Método de los Elementos Finitos para la modelación y simulación de materiales compuestos.: 20
3. 293-303.
4. Alfonso Alvarez, S. (2018). PROCEDIMIENTO PARA LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA INFRAESTRUCTURA PEATONAL EN LA ZONA PRIORIZADA PARA LA CONSERVACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MATANZAS. Departamento de Construcciones. Matanzas Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil: 108.**
5. ALZAMORA VALVERDE, C. M. and J. A. MONJA ARAUJO (2018). “DIAGNÓSTICO Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DE CONGESTIÓN VEHICULAR Y PEATONAL DE LA CIUDAD DE CHIMBOTE, EN LAS INTERSECCIONES; JR. LEONCIO PRADO, JR. LADISLAO ESPINAR, JR. ALFONSO UGARTE CON AV. JOSÉ GALVEZ. peru UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA **TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL 417.**
6. Araya-Muñoz, E. T., et al. (2016). Guía de diseño de facilidades peatonales Chile.
7. Bank, L. C., 2006. Composites For Construction-Structural Design with FRP. New Jersey: Wiley.
8. CAL Y MAYOR REYES SPÍNDOLA, R. and J. CÁRDENAS GRISALES (2010). Ingeniería de Tránsito.

9. Castañeda Gutiérrez, M. L. (2010). Evaluación comparativa de los pasos peatonales elevados y subterráneos para Bogotá bogotá, Universidad de La Salle Ciencia Unisalle.
10. Díaz Mondejar , A. (2017). SOLUCIÓN CONCEPTUAL DE INTERSECCIÓN A DESNIVEL TIPO ROTONDA ELEVADA EN EL NUDO DE ENTRADA A VARADERO. Matanzas, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil** 103
11. Durán Giner, C. A. (2016). Proyecto básico de pasarela peatonal sobre la carretera CV-310 en el término municipal de Godella, Universidad Politécnica de Valencia. **Grado en Ingeniero Obras Públicas** 50.
12. (FDN), F. d. D. N. and C. M. B. SYSTRA (2017). METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE TRÁNSITO Bogotá 62.
13. Febles Valera, L. M. (2013). Estética en la ingeniería de puentes, premisas de diseño para futuras aplicaciones en Matanzas. Facultad de Ingenierías. Matanzas, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. **Ingeniería Civil:** 93.
14. García Romero, F. (2015). Diseño de una pasarela peatonal mediante solución híbrida con materiales compuestos Dep. de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
15. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Sevilla, España Universidad de Sevilla **Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería Civil** 321.
16. GARCÍA, J. 2015. Estudio del comportamiento tenso-deformacional de suelos parcialmente saturados en Cuba [Online]. [Accessed].
17. Giraldez Toledo, R. (2019). ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PUENTE KM 2.151 DEL RAMAL DUBROCQ Matanzas, Universidad de



Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos" Facultad de Ciencias Técnicas **TRABAJO DE DIPLOMA EN INGENIERÍA CIVIL**

18. GONZÁLEZ GARCIA, L. (2017). Procedimiento para la planificación y control de flujos peatonales en la Zona Priorizada para la Conservación del Centro Histórico de la ciudad de Matanzas. , Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos".
19. Guadalajara., P.M.d.M.U.N.M.d.Á.M.d. Manual de lineamientos y estándares para vías peatonales y ciclovías.; 2010. p. 277.
20. Guío Burgos, F. A. (2010). Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos Revista Virtual Universidad Católica del Norte. colombia.
21. Hernández Caneiro, J. A. and J. J. Hernández Santana (2016). Hormigón Estructural. Diseño por Estados Límites.
22. Itzel Tovar, P. Diseño de infraestructura para la movilidad.; 2015. p. 4.
23. Jerez Castillo, S. and L. P. Torres Cely (2009). Manual de diseño de infraestructura peatonal urbana.
24. Jiménez Mayol, J. (2015). DISEÑO CONCEPTUAL Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA PASARELA METÁLICA CURVA ATIRANTADA CON UN PILONO LATERAL INCLINADO SITUADA EN LA RAMBLA DEL PUERTO DE LA CADENA A SU PASO POR EL HOSPITAL UNIVERSITARIO VIRGEN DE LA ARIXACA. , Universidad Politécnica de Cartagena. **TRABAJO FIN DE GRADO DE INGENIERÍA CIVIL 287**.
25. LIN, W. & YODA, T. 2017. Chapter Four - Loads and Load Distribution. In: LIN, W. & YODA, T. (eds.) Bridge Engineering. Butterworth-Heinemann.
26. Llanera Betancourt, Y. (2016). PROPUESTA DE SOLUCIÓN CONCEPTUAL A DESNIVEL TIPO TROMPETA DEL NUDO DE ACCESO A VARADERO. .

Matanzas, Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos". **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

27. LÓPEZ PEREDA, P. & NEVES MÓURIZ, E. 2000. MANUAL DE VADOS Y PASOS PEATONALES
28. Martínez Rizo, Y. (2017). SOLUCIÓN CONCEPTUAL DE TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE SUPERESTRUCTURA DE PUENTE PARA EL INTERCAMBIO SEMIDIRECCIONAL DEL NUDO DE ENTRADA A VARADERO. Matanzas UMCC. **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil** 86.
29. Martínez Villa, A. Facilidades explícitas para peatones y ciclistas. Vol. Capítulo 6; 2014. p. 36.
30. MUÑOZ CORTEZ, M. A. 2016. Metodología para establecer las variables que influyen en la selección de los cruces peatonales en Bogotá, caso de estudio localidad de Engativá. Universidad Nacional de Colombia
31. NORMALIZACIÓN, N. C. S. 2017. Requisitos Básicos para Diseño y Construcción.
32. NORMALIZACIÓN, N. J. M. D. C. 2003. 285 Carga de viento.
33. NC, O. N. D. N. 2010. NC 391-1: 2010, Accesibilidad y utilización del entorno construido por las personas — parte 1: Elementos generales. Vol.
34. NC, O. N. D. N. 2013a. NC 391-2: 2013; 2013a, Accesibilidad y utilización del entorno construido por las personas — parte 2: Urbanismo. Vol.
35. NC, O. N. D. N. 2013b. NC 391-3: 2013; 2013b, Accesibilidad y utilización del entorno construido por las personas — parte 4: Puentes. Vol.
36. NC, O. N. D. N. 2013c. NC 391- 4: 2013; 2013c, Accesibilidad y utilización del entorno construido por las personas — parte 4: Comunicaciones, señalización e información. Vol.

37. (NC), O. N. d. N. (2017). Construcciones sismo-resistentes. Requisitos básicos para diseño y construcción. La habana. **46**.
38. Olivas Ochoa, A. (2001). Propuesta de una metodología para justificar pasos peatonales a desnivel utilizando la distribución probabilística de Poisson, Universidad Autónoma de Nuevo León. **Ingeniero Civil: 184**.
39. Ortega García, O. J. (2018). SOLUCIÓN CONCEPTUAL DE PASARELA PEATONAL EN EL NUDO DE ENTRADA A VARADERO. . Departamento de Construcciones Matanzas Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil 79**.
40. Prada Bretón, L.E.; Laurens Acevedo, N.; Martínez Cortes, G.; Cristancho Varela, S.A.; Pardo Gaona, L. Guia práctica de la movilidad peatonal urbana. 2012. p. 107.
41. Poblete Bennett, P.; Saball Astaburuaga, P. Manual de vialidad urbana denominado recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana.; 2009. p. 331.
42. Peralta Peralta, F. J. (2018). DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES PEATONALES SOBRE LA AUTOPISTA PIMENTELCHICLAYO FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO Perú, Universidad Señor de Sipán: 198.
43. Reyes Rios, A. W. (2017). SOLUCIÓN CONCEPTUAL DE INTERSECCIÓN A DESNIVEL CON ROTONDAS PARA EL NUDO DE ENTRADA A VARADERO. Matanzas Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil 107**.
44. Rodríguez André, A. (2019). SOLUCIÓN CONCEPTUAL DE UN MODELO DE PASARELA PEATONAL PARA LA UNIVERSIDAD DE MATANZAS SEDE "CAMILO CIENFUEGOS". Matanzas, Universidad de matanzas Facultad

de Ciencias Técnicas Departamento de Construcciones **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

45. Romero Roger, J. (2017). Utilización del BIM para el diseño de pasos peatonales. Caso de estudio pasarela de Sagua la Grande., Universidad de Matanzas Sede camilo cienfuegos. **Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil.**
46. Santos Pérez, O. (2016). SOLUCIÓN CONCEPTUAL DE INTERSECCIÓN A DESNIVEL SEMIDIRECCIONAL EN EL NUDO DE ENTRADA A VARADERO. Departamento de construcciones. Matanzas, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. **Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil: 109.**
47. Soto Revelo, L. A. and J. L. Cabrera Ibarra (2011). Niveles de servicio y capacidad peatonal en zonas críticas ubicadas en el centro de la ciudad de Pasto desde la carretera 21 hasta la carretera 30 y entre las calles 15 y 21., Universidad de Nariño.
48. ST. TAPIAS SALAMANCA, J. and A. F. ST. PINZÓN MORENO (2014). PRE DISEÑO PARA UN MODELO DE PUENTE PEATONAL EN INTERCEPCIONES VIALES APLICADAS A CALZADAS DE ALTO FLUJO VEHICULAR colombia ESCUELA DE INGENIEROS MILITARES ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA INTEGRAL DE OBRAS. **TITULO DE POST-GRADO EN GERENCIA INTEGRAL DE OBRAS 62.**
49. TANGARIFE CIFUENTES, R. and J. H. VÁSQUEZ MONTOYA (2011). ESTUDIO PARA MEJORAR Y DINAMIZAR LA MOVILIDAD DE PEATONES Y VEHÍCULOS EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE GUATAPÉ México, Universidad de Medellín: 94.
50. TERRITORIO, S. D. D. U. Y. O. D. Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito México.
51. Vicet Kindelan, L. (2016). ESTUDIOS EN IDEAS PRELIMINARES DE LAS SOLUCIONES DEL NUDO DE ENTRADA A VARADERO Y SUS RAMAS

DE ACCESO. , Universidad de Matanzas, Sede Camilo Cienfuegos. **Trabajo de  
Diploma en Ingeniería Civil**

## ANEXOS

### ANEXO 1 Estudios ingenieros-geológicos

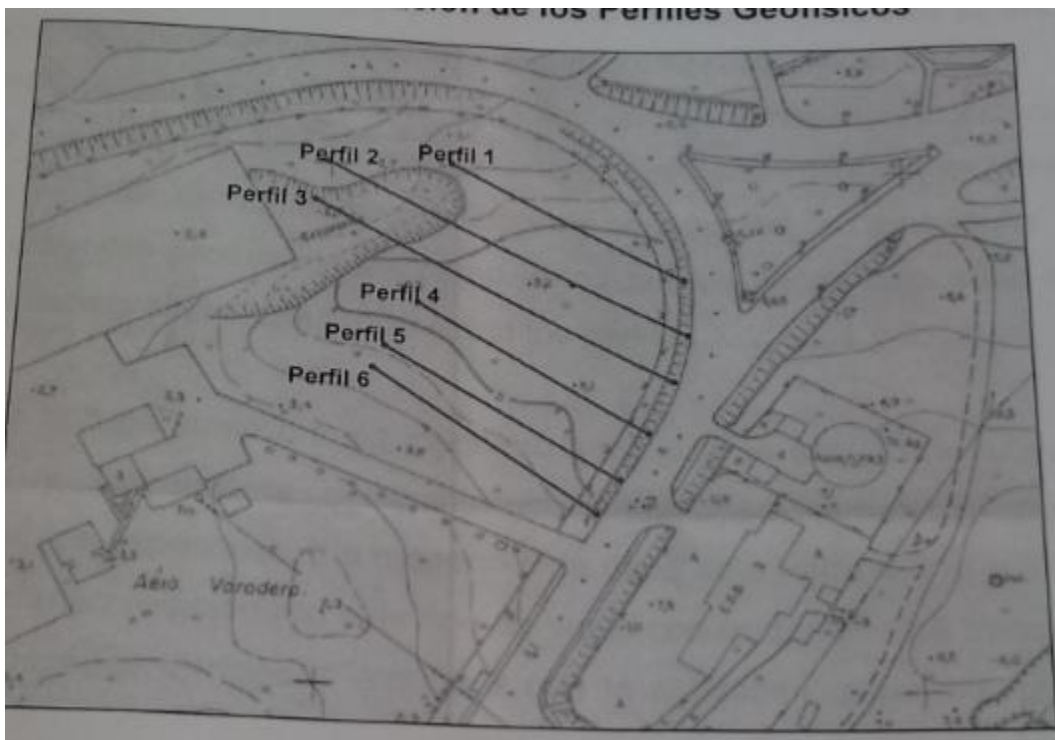
Los estudios son realizados por la empresa INVESCONS en tres puntos cercanos a la zona de estudio:

#### **Estudio Área de entrada de Varadero:**

Sus coordenadas cartográficas del centro del áreas, según la hoja 69-10-16 del Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía son: X= 470599.661; Y=366801.220

La investigación consistió en la realización de imágenes eléctricas en el área a ocupar por los viales de la rotonda, específicamente para los nuevos que se construirán abarcando la zona del antiguo aeropuerto. Se utilizó dispositivo Wenner Schlumberger.

#### **Plano de ubicación de los perfiles geofísicos**



- El corte litológico, hasta la profundidad investigada, se caracteriza por la presencia de tres tipos de suelos. El primero se caracteriza por mayor resistividad,

su potencia está en el orden de 4,0m como promedio. Está caracterizado por ser del tipo calcáreo de elevada dureza, porosa y con baja humedad, sus poros se encuentran vacíos y en ocasiones rellenos con materiales arenosos.

- El segundo suelo se encuentra subyaciendo a la anterior y sus valores se caracterizan por valores intermedios, los espesores que mapean esta capa está entre 4,0m y 6,0m como máximo, estando relacionado este tipo de suelo con materiales de transición entre los calcáreos y los terrígenos arcillosos que le subyacen, supuestamente suelos margosos.
- El tercer tipo de suelo se localiza en todas las secciones y presentan valores débiles. Sus espesores oscilan en el orden desde los 4,0 hasta los 6,0m indistintamente para cada sección. Está asociada a suelos del tipo arcillosos o arcillosos-arenosos aturadas de baja dureza y plásticos

### **Ampliación aeropuerto Varadero**

El área de estudio se encuentra ubicada en la costa norte de la provincia de Matanzas, en el pueblo de Varadero, zona que por su posición debe presentar potentes espesores de rocas sedimentarias.

Se realiza la investigación geofísica para resolver algunas tareas relacionadas con el estudio ingeniero geológico del área de ampliación del aeropuerto de varadero. La tarea técnica está encaminada a determinar la existencia o no de fenómenos cársicos e toda la extensión de la pista, actualmente pavimentada.

Se consideró que en el área no existen fenómenos cársicos de consideración, lo que se manifiesta por el carácter estable de la resistividad aparente en los perfiles, a excepción del perfil V donde se señala inestabilidad de la curva de resistencia aparente, con comportamientos anómalos de valores altos, fenómeno asociado al grado de heterogeneidad de esta zona, donde se observan afloramientos de roca caliza en mayor abundancia hacia el final del perfil.

**Centro de control del mosquito:**

El área a investigar se encuentra situada en Santa Marta, en la carretera que conduce a la Cueva del Muerto en la parte posterior del IPU Martín Klein.

El área se encuentra totalmente cubierta de una capa de relleno heterogéneo, que según testimonios, fue colocándose paulatinamente con el fin de darle nivelación al suelo para posteriormente ser utilizado en la siembra de cultivos.

**Comportamiento geológico:**

- **Capa I:** Relleno heterogéneo producto de escombros de construcciones cercanas
- **Capa II:** calcarenita de color crema a blanco gris de dureza baja, porosa y de textura arenosa. Se observa a partir de 0,5-1,0m en todas las calas hasta alrededor de los 2,0m
- **Capa III:** caliza organógena de dureza media en ocasiones muy cavernosa de color crema amarillento, la cual aparece inmediatamente después de la calcarenita
- **Capa IV:** marga arcillosa de color amarillo con muchos fragmentos de caliza organógena.



## Anexo 2 Cálculo de carga de viento en las propuestas:

### 1-Pasarela en forma de arco con tablero intermedio:

- Presión base de  $q_{10} = 1.3 \text{ kN/m}^2$  por estar emplazada en la zona occidental de Cuba
- Se diseña para un tiempo de recurrencia de 100 años,  $C_t = 1.15$
- La pasarela se ubica en las cercanías del Canal de Paso Malo, sitio expuesto, por lo tanto  $C_s = 1.1$ .
- Coeficiente de altura:  $C_h$

Tabla 4 — Coeficiente de altura ( $C_h$ ).

Altura (m)	Tipos de Terreno		
	A	B	C
De 0 a 5	0,80	0,48	0,19
10	1,00	0,65	0,30
20	1,25	0,88	0,47
30	1,42	1,05	0,62
40	1,56	1,20	0,75
50	1,67	1,32	0,87
60	1,77	1,43	0,98
70	1,86	1,53	1,08
80	1,95	1,62	1,18
90	2,02	1,71	1,28
100	2,09	1,79	1,47
125	2,24	1,97	1,59
150	2,38	2,14	1,79
175	2,50	2,29	1,98
200	2,61	2,43	2,17

NOTA: Los valores de altura no señalados en esta Tabla serán interpolados.

Altura de la estructura: 9,0m por lo tanto se interpola:

$$\frac{10 - 5}{1 - 0,8} = \frac{10 - 9}{1 - x}$$

$$\frac{5}{0,2} = \frac{1}{1 - x}$$

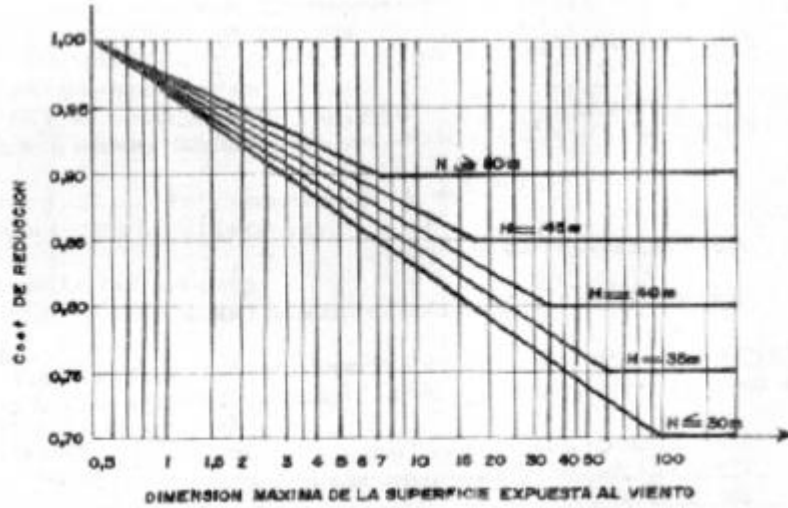
$$25 \cdot (1 - x) = 1$$

$$(1 - x) = 1/25$$

$$1 - x = 0,04$$

$$x = 0,96$$

- Coeficiente de ráfaga:  $C_r$ : terreno A y altura de la estructura menor de 10,0 m, por lo tanto  $C_r=1,22$
- Coeficiente de reducción:  $C_{ra}$   
 Altura menor de 30,0 m y mayor dimensión horizontal de 34,0m; por lo tanto según la norma  $C_{ra}=0,765$



- El coeficiente de forma para esta estructura es tomado de la norma ASCE Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading

Table 2-6. Member Force Coefficients

Member Shape	Force Coefficient, $C_f$	Adapted From
Circular	0.9	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005)
16-sided polygonal	0.9	James (1976)
12-sided polygonal	1.0	James (1976)
8-sided polygonal	1.4	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005), James (1976)
6-sided polygonal	1.4	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005)
Square, rectangle	2.0	ASCE Standard 7-05 (ASCE 2005)

Aplicando la norma se tiene:

$$q = q_{10} \cdot C_t \cdot C_s \cdot C_h \cdot C_r \cdot C_{ra} \cdot C_f \cdot \text{ancho del elemento}$$

Arco:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 0,9 \cdot 0,27m = 0,3580 \frac{kN}{m}$$

Péndolas

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 0,9 \cdot 0,08m = 0,1060 \frac{kN}{m}$$

Vigas longitudinales:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,24m = 0,3536 \frac{kN}{m}$$

Columnas:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,3048m = 0,449 \frac{kN}{m}$$

## 2-Pasarela en forma de arco con tablero inferior:

- Presión base:  $q_{10} = 1.3kN/m^2$ .
- Coeficiencia de recurrencia:  $C_t = 1.15$
- Coeficiente de sitio:  $C_s = 1.1$ .
- Coeficiente de altura:  $C_h$

Altura de la estructura: 10,5 m por lo tanto se interpola:

$$\frac{20 - 10}{1,25 - 1,00} = \frac{20 - 10,50}{1,25 - x}$$

$$\frac{10}{0,25} = \frac{9,5}{1,25 - x}$$

$$40 \cdot (1,25 - x) = 9,5$$

$$(1,25 - x) = 9,5/40$$

$$1,25 - x = 0,23$$

$$x = \mathbf{1,02}$$

- Coeficiente de ráfaga: Cr: terreno A y altura de la estructura mayor de 10,0 m, por lo tanto se interpola:

$$\frac{20 - 10}{1,14 - 1,18} = \frac{20 - 10,50}{1,14 - x}$$

$$\frac{10}{-0,04} = \frac{9,5}{1,14 - x}$$

$$-250 \cdot (1,14 - x) = 9,5$$

$$(1,14 - x) = -9,5/250$$

$$1,14 - x = -0,038$$

$$x = \mathbf{1,178}$$

- Coeficiente de reducción: Cra  
Altura menor de 30,0 m y mayor dimensión horizontal de 34,0m; por lo tanto según la norma Cra=0,765
- El coeficiente de forma para esta estructura es tomado de la norma ASCE Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading según el tipo de elemento.

Aplicando la norma se tiene:

$$q = q_{10} \cdot C_t \cdot C_s \cdot C_h \cdot C_r \cdot C_{ra} \cdot C_f \cdot \text{ancho del elemento}$$

Arco:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 0,9 \cdot 0,27m = 0,3580 \frac{kN}{m}$$

Péndolas

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 0,9 \cdot 0,1683m = 0,2231 \frac{kN}{m}$$

Vigas longitudinales:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,3081m = 0,4539 \frac{kN}{m}$$

Columnas:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,3048m = 0,449 \frac{kN}{m}$$

### 3-Pasarela de armadura:

- Presión base:  $q_{10} = 1.3kN/m^2$ .
- Coeficiencia de recurrencia:  $C_t = 1.15$
- Coeficiente de sitio:  $C_s = 1.1$ .
- Coeficiente de altura:  $C_h$

Altura de la estructura: 8,5m por lo tanto se interpola:

$$\frac{10 - 5}{1 - 0,8} = \frac{10 - 8,5}{1 - x}$$

$$\frac{5}{0,2} = \frac{1,5}{1 - x}$$

$$25 \cdot (1 - x) = 1,5$$

$$(1 - x) = 1,5/25$$

$$1 - x = 0,06$$

$$x = 0,94$$

- Coeficiente de ráfaga: Cr: terreno A y altura de la estructura menor de 10,0 m, por lo tanto Cr=1,22
- Coeficiente de reducción: Cra  
Altura menor de 30,0 m y mayor dimensión horizontal de 30,0m; por lo tanto según la norma Cra=0,77
- El coeficiente de forma para esta estructura es tomado de la norma ASCE Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading (Ver figura )

Armadura:

Cordones superiores:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,2037m = 0,3 \frac{kN}{m}$$

Montantes:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,2037m = 0,30 \frac{kN}{m}$$

Cordones inferiores:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,2037m = 0,30 \frac{kN}{m}$$

Columnas:

$$q = \frac{1,3kN}{m^2} \cdot 1,1 \cdot 1,15 \cdot 0,96 \cdot 1,22 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 0,3048m = 0,449$$

### Anexo 3 Procedimientos en Matlab

La conformación de los arcos correspondientes a las propuestas 1 y 2, se realiza en el software Matlab. El procedimiento se detalla a continuación:

#### Propuesta 1: Pasarela peatonal en forma de arco con tablero intermedio.

---

```

%vector horizontal x
x=[0 3 17 31 34];

%vector de alturas y
y=[ 0 2 5.0 2 0];

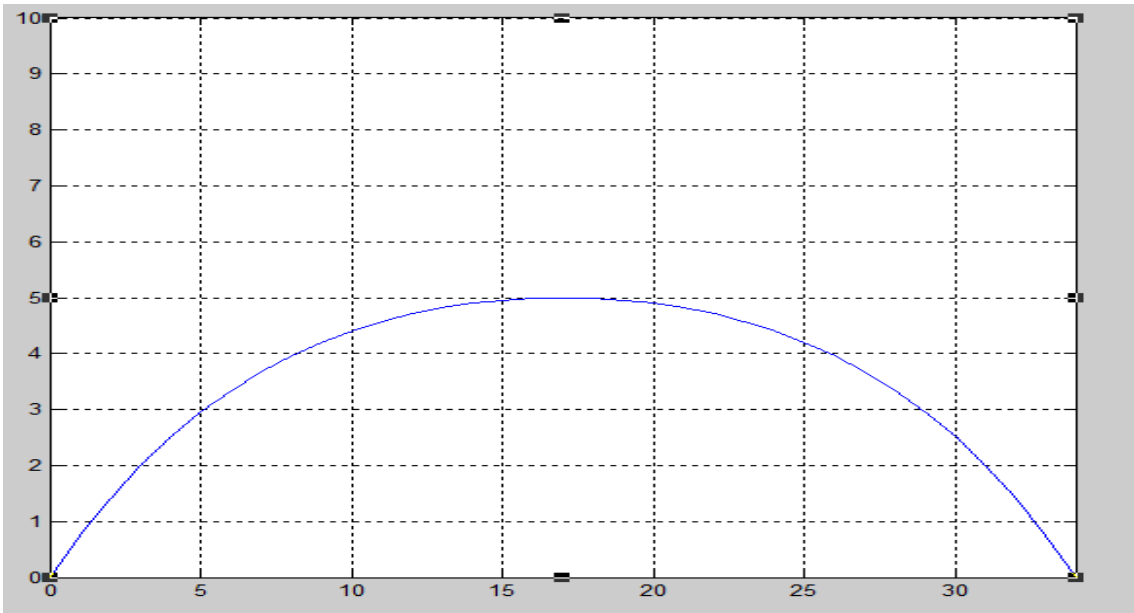
%polinomio de grado 4 obtenido de ambos vectores
p = polyfit(x,y,4);

%vector longitud a evaluar
X=[0:1:34];

%vector de alturas obtenidas
H= p(1,1).*X.^4 + p(1,2).*X.^3 + p(1,3).*X.^2+p(1,4).*X + p(1,5);

plot (X,H)
grid on
xlim ([0 34])
ylim([0 5.0])

```



Propuesta 2: Pasarela peatonal en forma de arco con tablero inferior

```

%vector horizontal x
x=[0 3 17 30 33];

%vector de alturas y
y=[ 0 2 5.0 2 0];

%polinomio de grado 4 obtenido de ambos vectores
p = polyfit(x,y,4);

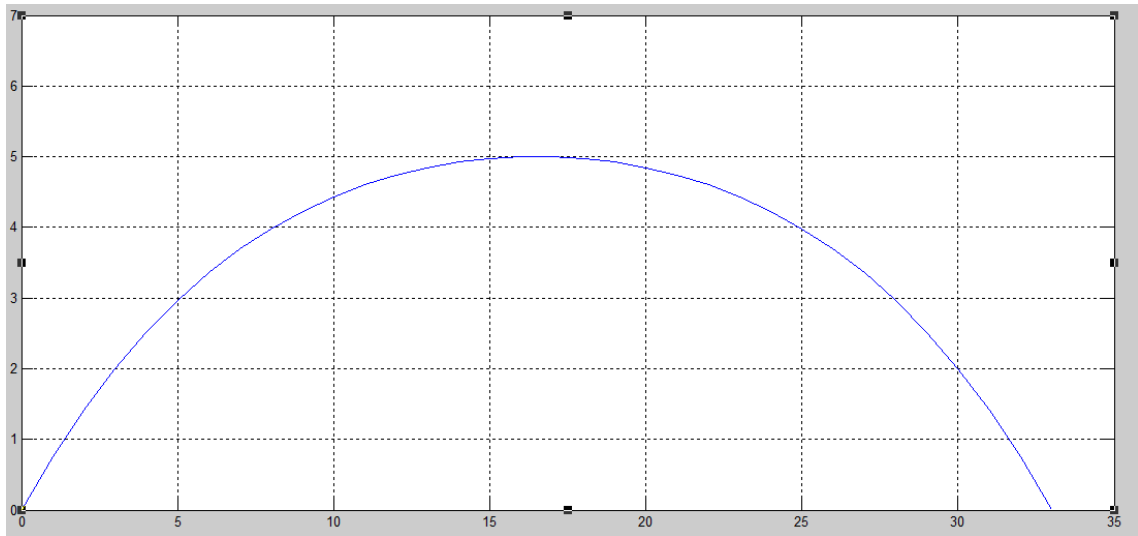
%vector longitud a evaluar
X=[0:1:33];

%vector de alturas obtenidas
H= p(1,1).*X.^4 + p(1,2).*X.^3 + p(1,3).*X.^2+p(1,4).*X + p(1,5);

plot (X,H)
grid on
xlim ([0 33])
ylim([0 5.0])

```





#### Anexo 4 Diseño de los accesos

Las tres propuestas de pasarelas peatonales elevadas presentan el mismo gálibo, por tanto, el diseño de los accesos es igual y su procedimiento se muestra a continuación. Altura a salvar 5,50m de gálibo. Se le añade la altura del perfil de las vigas longitudinales y el peralte del tablero. Se tuvieron en cuenta las normativas siguientes:

Según la NC 391-2: 2004 los accesos de los pasos peatonales elevados deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Las escaleras también deben estar dotadas con una doble barandilla a una altura de 950 mm y 700 mm respectivamente situada longitudinalmente al menos en uno de sus laterales, siendo conveniente su instalación en ambos lados e incluso en su parte central cuando exista un ancho superior a 200 mm, debiendo prolongarse en todos los casos 300 mm más sobre el comienzo y al final de los escalones aconsejándose que la altura de cada escalón no supere los 170 mm y el ancho o huella no sea inferior a 290 mm, debiendo ser todos iguales.
- En las rampas la pendiente máxima de las rampas de acceso continuas 12%. Se deberá considerar descansos de 2.00 a 2.50 m de longitud a lo largo de los tramos

horizontales (en planta) a un máximo de 15.00 m. Deberán tener un ancho suficiente para que circulen dos sillas de ruedas a la vez.

Cálculo de los accesos:

- **Escalera:**

Según los parámetros normados:

Contrahuella = 15cm

Huella = 30cm

Cantidad de peldaños:

$$590\text{cm} \div 15\text{cm} = 39,3 \approx 40 \text{ escalones}$$

Es ideal que la escalera no presente más de 14 escalones seguidos, por tanto, se proyectan tres tramos de escalera y dos descansos con longitud de 1,5m cada uno.

- **Rampa:** De acuerdo a las normas, se proyectan dos descansos de 2,0 m y 2,5m cada 15m de longitud.

**Cargas que actúan en los accesos:**

	<i>Carga permanente</i>	<i>Carga de uso</i>	<i>Carga de viento</i>
<i>Propuesta 1</i>	2,55kn/m <sup>2</sup> (rejilla irving) en vigas de borde 5,1/m <sup>2</sup> en vigas críticas	4,5kn/m <sup>2</sup> en vigas de borde. 9,0kn/m <sup>2</sup> en las vigas críticas	Sólo en las columnas proyectadas en los descansos
<i>Propuesta 2</i>	2,55kn/m <sup>2</sup> (rejilla irving) en vigas de borde 5,1/m <sup>2</sup> en	4,5kn/m <sup>2</sup> en vigas de borde. 9,0kn/m <sup>2</sup> en las vigas críticas	Sólo en las columnas proyectadas en los descansos

	vigas críticas		
<i>Propuesta 3</i>	0,25kn/m <sup>2</sup> (WPC) en vigas de borde 0,5kn/m <sup>2</sup> en vigas críticas	4,5kn/m <sup>2</sup> en vigas de borde. 9,0kn/m <sup>2</sup> en las vigas críticas	Sólo en las columnas proyectadas en los descansos

<i>Escalera</i>		<i>Rampas</i>		
<i>Descansos</i>	<i>Tramos</i>	<i>Pendiente</i>	<i>Tramos</i>	<i>Descansos</i>
2 descansos de 1,50m	3	10%	3	2 descansos de 2,0m y 1 de 2,50m

NC), O. N. d. N. (2003). CARGA DE VIENTO. METODO DE CALCULO La Habana. **NC 285: 2003**: 68.