



**Universidad  
de Holguín**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DPTO. CONSTRUCCIONES**

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE  
PEATONAL -EN FORMA DE ARCO- PARA LA  
INTERSECCIÓN DE LA PLAQUITA, CIUDAD  
DE HOLGUÍN**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Autor: Roberto Ignacio Caballero Pérez

Año 2022

**2022**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DPTO. CONSTRUCCIONES**

**DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTE  
PEATONAL -EN FORMA DE ARCO- PARA LA  
INTERSECCIÓN DE LA PLAQUITA, CIUDAD  
DE HOLGUÍN**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Autor: Roberto Ignacio Caballero Pérez**

**Tutores: Dr.C. Arq. Ing. Frank Navarro Tamayo (PT)  
Ms.C. Ing. Eunices Soler Sánchez (PAsist)**

**Holguín, 2022**

## **PENSAMIENTO**

*La ingeniería estructural es el arte de modelizar materiales que no comprendemos del todo, en formas que no podemos analizar de un modo preciso, para soportar esfuerzos que no podemos evaluar adecuadamente, de manera que el público en general no tenga razón alguna para sospechar de la amplitud de nuestra ignorancia.*

*(Frase atribuida al antiguo presidente de la rama escocesa de la prestigiosa Institución Británica de Ingenieros Estructurales, tomado de Rui-Wamba, Javier:  
Aforismos estructurales, Aforismo Quinto)*

## **DEDICATORIA**

*A mi familia, en especial a mis padres por ser quienes me guían y dan fuerzas para continuar y que me han ayudado a no tropezar con obstáculos para encontrar mi camino.*

*A mi familia, en especial a mi abuelo y abuela y a mis tíos, a los de sangre y a los de afecto por estar siempre y creer en mí.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A lo largo de mi vida son muchas las personas que de una forma u otra han colaborado en mi desarrollo académico y educativo. Aunque solo mencione los más representativos, en mi agradecimiento hay lugar para todos:*

- Quisiera agradecer a mis padres, por estar siempre ahí para mí, apoyándome y entregándome todo sin pedir nada a cambio.*
- Al resto de mi familia, natural y adquirida por afectos, por el optimismo y el ánimo constante que me han brindado.*
- A mis amigos, a los de siempre y a los ganados por el camino, en especial a Daciel Godínez amigo y hermano, por su compañía y dedicación en todos estos años.*
- A mis tutores, la MSc. Ing. Eunices Soler Sánchez y el DrC. Arq. Ing. Frank Navarro Tamayo, por hacer un espacio en su limitado tiempo y brindarme su asesoría, sus experiencias y consejos.*
- A los maestros y profesores, de antes y de ahora por contribuir con sus conocimientos, exigencias y profesionalidad en mi formación personal y profesional.*
- A los que de una forma u otra me han alentado en este camino.*

*A todos, gracias*

## **RESUMEN**

En la intersección de La Plaquita, del municipio Holguín; se registran diariamente conflictos entre los flujos de vehículos y peatones, con un 99.3% de probabilidad de ocurrencia de accidentes para ambos. El volumen horario de máxima demanda es de 782 peatones/hora, demostrándose que la solución actual (cruce con preferencia para peatones) no es la más adecuada por lo que la construcción de un puente peatonal disminuiría los conflictos entre ambos flujos. Las soluciones aportadas en investigaciones anteriores, no se han podido utilizar a partir de los requerimientos planteados por los inversores; por lo cual, en la presente investigación, su aporte consiste en realizar un diseño estructural de un puente peatonal en forma de arco. Para esto, se realiza el análisis de cuatro variantes, analizados con diferentes materiales (hormigón y acero) que con empleo del software profesional CSI Bridge, versión 15; por las facilidades que ofrece para el caso específico de puentes en arco, se obtiene que las variantes 1 y 2 son las más idóneas para implementar en este emplazamiento.

## **ABSTRACT**

At the intersection of La Plaquita, in the municipality of Holguín; Conflicts between vehicle and pedestrian flows are recorded daily, with a 99.3% probability of accidents occurring for both. The hourly volume of maximum demand is 782 pedestrians/hour, showing that the current solution (crossing with preference for pedestrians) is not the most appropriate, so the construction of a pedestrian bridge would reduce the conflicts between both flows. The solutions provided in previous investigations have not been able to be used based on the requirements raised by the investors; therefore, in the present investigation, its contribution consists of carrying out a structural design of an arch-shaped pedestrian bridge. For this, the analysis of four variants analyzed with different materials (concrete and steel) is carried out. With the use of software professional CSI Bridge, version 15, due to the facilities it offers for the specific case of arch bridges, it is obtained that variants one and two are the most suitable to implement in this location.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS RELATIVOS AL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE PUENTES PEATONALES.....	7
1.1 Los puentes peatonales. Antecedentes, clasificación y componentes.....	7
1.2 Caracterización de los puentes peatonales. ....	15
1.3 Consideraciones para la concepción de puentes peatonales. ....	22
1.3.1 Criterios arquitectónicos.....	23
1.3.2 Criterios estructurales. ....	24
1.4 Resultados del estado del arte sobre investigaciones anteriores de este caso de estudio. ....	27
1.5 Puentes en arco.....	29
Conclusiones del capítulo.....	31
CAPÍTULO II. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PUENTE PEATONAL EN FORMA DE ARCO EN LA INTERSECCIÓN DE LA PLAQUITA, CIUDAD DE HOLGUÍN.....	32
2.1 Introducción. ....	32
2.2 Descripción del Software CSiBridge v.15.....	32
2.3 Diagnóstico del emplazamiento .....	33
2.4 Estudio de suelos.....	36
2.5 Cálculo de las cargas actuantes. ....	36
2.5.1 Cargas Verticales. ....	36
2.5.2 Cargas laterales. ....	37
2.5.3 Combinaciones de carga.....	39
2.6 Variantes de soluciones estructurales.....	39
2.6.1 Descripción de las variantes.....	39
2.6.2 Entrada de datos al programa por Variante.....	41
2.6.3 Análisis de resultados.....	51
2.7 Valoración del resultado de las variantes estudiadas. ....	56
Conclusiones del capítulo .....	57
CONCLUSIONES GENERALES.....	58



RECOMENDACIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA .....	60
ANEXOS .....	63

## INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tráfico, ocasionan daños materiales y humanos en un determinado trayecto de movilización, se debe a la acción riesgosa, irresponsable de un conductor, de un pasajero o de un peatón, que depende generalmente a factores externos e imprevistos, como pueden ser producto a fallos mecánicos repentinos, errores de transporte, de carga, de condiciones ambientales desfavorables y cruce de animales durante el tráfico, o incluso, deficiencias en los elementos del tránsito.

Estos siniestros de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021) se encuentran entre las cinco primeras causas de mortalidad en el orbe y la primera entre personas de entre 5 y 29 años. Actualmente pierden la vida cada año aproximadamente 1,3 millones de personas y quedan discapacitadas entre 20 y 50 millones. Los estudios revelan además que el 92% de los fallecidos se registran en los países de bajos y medios ingresos, que a su vez presentan un 52% de los vehículos (Cuba debate, 2018).

Con las tendencias existentes, los accidentes viales serán la tercera causa de muertes y lesiones en el mundo en 2020 (Murray y López, 1996); en los últimos dos años con la llegada de la pandemia y con ella la restricción de movimientos la accidentalidad sufrió un descenso, demostrándose en la lista de la OMS de las principales causas de muerte en el mundo que actualmente se encuentra entre la 7ma y 10ma posición en los países de ingresos bajos y medianos y fuera del top 10 en países de ingresos altos; valores que deben volver a tomar niveles en años posteriores con la apertura de las restricciones de movimiento (pandemia silenciosa).

En los últimos años la problemática de la seguridad vial y sus consecuencias adquiere notable importancia, por tanto, es fundamental y de gran importancia para el desarrollo de una ciudad, que a medida que crece la población se generen soluciones peatonales con el fin de brindar seguridad vial a los transeúntes. Es del conocimiento de todos que cuando se establecen medidas o soluciones siempre se debe partir de las más sencillas hasta las más complicadas con la primicia de que deben cumplir el objetivo final que se desea. En el caso del tránsito también se aplica, fundamentalmente para la implementación de los dispositivos de control.

Es muy común en la vía urbana ver a los transeúntes caminar en las calles poniendo en peligro sus vidas, motivado por la estrechez de las aceras, a que sobre ellas se encuentran varios obstáculos, al mal estado de estas e incluso a su inexistencia. La Comisión Provincial de Seguridad Vial (CPSV) establece un grupo de medidas en función de reducir los accidentes. Algunas de estas son: mejora de señalizaciones e implementación de otros dispositivos de control, evaluaciones de seguridad vial en los emplazamientos de altas concentraciones de conflictos, entre otras.

Para minimizar los accidentes en las ciudades existen diversas medidas que, según las características de la intersección y tomándose en cuenta varios factores, se determinan las más idóneas a cada situación. Una de las más efectivas y utilizadas son los puentes peatonales.

Estas estructuras son un factor de modernidad y desarrollo para cualquier actividad económica o social (Peralta 2018). Resultan una solución ventajosa para mejorar la seguridad vial en un punto donde los conflictos son generados por los altos volúmenes vehiculares y peatonales. Son un medio de conexión de vías que permite de ambas corrientes sin generar conflictos entre ellos. Lo que facilita que el tráfico no se detenga en un punto, que fluya con mayor rapidez y total seguridad. Pueden ubicarse en vías donde el tránsito de personas se hace difícil, en ríos, valles, montañas y otros.

Existen múltiples tipos de pasarelas. Están diseñados para soportar cargas reducidas por lo que no se debe acceder a estos, con equipos a motor o con bicicletas, esto fundamenta su diseño. Los peatones en ocasiones no los utilizan, por pereza a subir escaleras, su longitud, porque al usarlos pierden más tiempo y el camino se hace más largo. Por lo que se toman estos criterios para su construcción además de concientizar a estos por la importancia de salvaguardar miles de vidas.

Estas estructuras son utilizadas en diversos países del mundo ya que no dificultan el tráfico desde el punto de vista de planificación de transporte, ofrecen seguridad para los peatones y embellecen las ciudades desde el punto de vista arquitectónico, pueden mencionarse el Puente Millennium en Londres, el Puente Sant'Angelo en Roma, el Puente de las Artes en París o el pasaje íntegramente de cristal del Aeropuerto Franz Josef Strauß de Múnich, el Puente de los tres países, un puente en forma de arco entre

la ciudad alemana de Weil am Rhein y la francesa Huningue, es el puente peatonal y para bicicletas más largo del mundo.

En nuestro país sin embargo existen pocas estructuras y son poco complejas que no tienen evolución. Poseen como material el hormigón armado, el acero, mixtos y, su estructura consiste en columnas que soportan vigas y losas; con algunas limitaciones como la falta de accesos para las personas con discapacidad físico motoras, carencias de iluminación y falta de techados, lo que deja a los transeúntes a merced de las inclemencias del tiempo (Romero 2019).

No son muchos los ejemplos que se pueden citar, pero se pueden mencionar que *en la provincia de Holguín se cuenta con la existencia de tres, dos de hormigón, uno que da acceso al estadio Calixto García otro ubicado entre los repartos La Aduana y Plaza, más conocido como El Elevado y el tercero de estructuras metálicas ubicado en el municipio Mayarí estos dos últimos muy poco utilizados.*

La mala planificación de la ubicación de los lugares en que se implementan estos pasos a desnivel para el cruce de peatones que no son realmente demandados, fundamentalmente en la provincia conlleva a que esta medida no sea tomada en cuenta por los decisores, al dirigir sus alternativas en medida menos costosas y menos eficientes.

Sin embargo, existen zonas de conflicto en el municipio cabecera de la ciudad de Holguín, que, exigen de la aplicación de esta medida, por lo elevados conflictos que existen entre los flujos vehiculares y peatonales, tal es el caso de la intersección caso de estudio.

En la provincia Holguín, a partir de la ampliación de la carretera central, en el lugar que ocupa la intersección de La Plaquita, lo ha convertido en el emplazamiento más grande no semaforizado del municipio Holguín, donde confluyen altos volúmenes de peatones (782 peat/h y 1500 veh/h) para una probabilidad de accidentes de 99,3%, es decir, las acciones de los usuarios de la vía, sumado a la falta de infraestructura vial adecuada, provocan problemas de seguridad para los peatones, así como de circulación para los vehículos, se ha transformado en un punto de comportamientos viales conflictivos de ambas partes, los conductores, no respetan el derecho del peatón y ejercen presión para que estos actúen de manera imprudente, por otro lado, los transeúntes a partir de la falta

de educación vial comenten imprudencias como el no cruzar por la zona destinada a ese fin y además hacerlo precipitadamente. Todo esto ha demostrado que en la intersección existe un alto índice de accidentalidad.

Para darle solución a esta problemática se han realizado múltiples investigaciones como Vicet (2018) con una propuesta de medidas para la seguridad vial en la intersección teniendo en cuenta el factor humano la creación de un paso a desnivel superior, la puesta en práctica de un semáforo tanto de tipo peatonal como de circulación vehicular, además, se plantea un cambio en el sentido de circulación en la calle próxima al Policlínico Mario Gutiérrez para evitar el giro a la izquierda. Romero (2019) con una propuesta de puentes peatonales como medida para la seguridad vial en la intersección y Carballo (2020) con un diseño estructural de puente peatonal de estructuras metálicas para la intersección.

A pesar de los importantes resultados de estas investigaciones, las soluciones aportadas, no se han podido utilizar a partir de los requerimientos planteados por los inversores; como salvar una luz de 30m sin columnas intermedia por lo cual la presente investigación se basa en el diseño estructural de un puente peatonal en forma de arco como solución a los conflictos vehículo-peatón en la intersección de La Plaquita, donde se hacen las modelaciones, análisis y diseño de varias propuestas y se demuestra que son viables los modelos de esta estructura que se pueden implementar. Estos análisis han provocado que se siga estudiando el diseño estructural para un puente peatonal desde un diseño en arco.

Lo antes expuesto se convierte en la justificación de la problemática a tratar en esta investigación. La cual queda definida como:

**Problema de investigación:**

- Insuficiencia de la seguridad vial establecida en la intersección de La Plaquita, para el cruce de peatones.

**Objetivo general:**

- Realizar el diseño estructural -en forma de arco- del puente peatonal en la intersección La Plaquita, en la ciudad de Holguín.

**Objetivos específicos:**

- Desarrollar un marco teórico referencial de los puentes peatonales como medida para mejorar la seguridad vial.
- Realizar el diseño estructural de un puente peatonal -con estructura en forma de arco- para la intersección no semaforizada de La Plaquita, en la ciudad de Holguín.
- Valorar el resultado del diseño propuesto.

**Objeto de la investigación:**

- Los puentes peatonales.

**Campo de acción de la investigación:**

- Diseño estructural -en arco- del puente peatonal de la intersección no semaforizada de La Plaquita, en la ciudad de Holguín.

**Hipótesis:** Si se diseña estructuralmente, un puente peatonal en forma de arco en la intersección de La Plaquita, a través del programa CSI BRIDGE, se contribuye a minimizar la insuficiencia de la seguridad vial establecida en esta intersección no semaforizada, en la ciudad de Holguín.

**Métodos de investigación:**

Métodos teóricos:

- Análisis – síntesis: permite llegar a síntesis científicas a partir de un proceso de caracterización teórica y empírica del objeto y campo de la investigación para el diseño estructural no semaforizada de La Plaquita, en la ciudad de Holguín.
- Histórico – lógico: Para la determinación de los antecedentes históricos de los puentes peatonales.
- Sistémico estructural funcional: Para implementar el puente peatonal como medida para mejorar la seguridad vial en la intersección de la Plaquita.

Métodos empíricos:

- Observación científica: resulta de utilidad para la ejecución de los procesos de caracterización empírica de los puentes peatonales en arco como medida para

mejorar la seguridad vial.

- Entrevistas: permite obtener información de interés acerca del objeto de estudio para su caracterización y el análisis histórico del mismo. Así como para conocer la conciencia popular con respecto a su utilidad.

Métodos estadísticos:

- Métodos estadísticos matemáticos: posibilitar el diseño estructural de un puente peatonal además de la utilización del software CSI Bridge15.
- Estadísticos descriptivos: posibilitar la gestión y recepción de los datos para una mejor interpretación y representación de las informaciones.

**Aporte:** se da solución al diseño estructural de un puente peatonal -con estructura en forma de arco- para mejorar los conflictos vehículo-peatón y la seguridad vial.

**Novedad científica:** utilización del programa CSI BRIDGE 15, para dar solución a una estructura en forma de arco, donde otros especialistas no la han considerado, en este tipo de proyecto.

**Actualidad:** responde a una de las líneas de investigación que desarrolla el Departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín: Innovación para el desarrollo sostenible. Responde a una de las áreas del conocimiento que es Ingeniería y Seguridad Vial. Se vincula, además, al proyecto de investigación: Perfeccionamiento de herramientas para el análisis del tránsito y la seguridad vial (Universidad de Camagüey – Universidad de Holguín). La misma cumple con uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, que es garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos, reduciendo a la mitad el número de muertos y lesiones, causadas por accidentes de tráfico en el mundo.

# **CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS RELATIVOS AL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y ESTRUCTURAL DE PUENTES PEATONALES.**

## **Introducción al capítulo.**

Se abordan los principales aspectos teóricos, concernientes al diseño arquitectónico y estructural de los puentes peatonales. Se inicia con una descripción de las características y parámetros que se deben tener en cuenta para su dimensionamiento y configuración, atendiendo a las cualidades que se les exigen según el uso destinado y los requerimientos de seguridad y confort establecidos.

Se describen los pasos a seguir para el proceso de diseño estructural, apoyado en un organigrama (aparece en la Fig.1.1) y, se exponen en cada etapa del proceso, las plataformas teóricas que lo sustentan, amparados en la utilización de la bibliografía especializada, las normas cubanas y de otros países, así como el uso de los criterios y experiencias de expertos.

## **1.1 Los puentes peatonales. Antecedentes, clasificación y componentes.**

### **Antecedentes**

La historia de los puentes, es también la historia de la evolución del hombre, que se condiciona a partir de la aparición de nuevos materiales y las capacidades adquiridas para darle uso a cada uno de ellos, además, de la necesidad de salvar los obstáculos de la naturaleza en la construcción de caminos y ciudades.

La madera, quizás fuese el primer material usado, después la piedra y el ladrillo, que dieron paso al acero y al hormigón en el siglo XIX. Y en la actualidad nuevos puentes de fibra de carbono son diseñados, con luces mayores y espesores nunca antes vistos.

Los primeros puentes se conforman con elementos naturales simples, como un tronco dejado caer sobre un arroyo o unas piedras dispuestas en un río. Estos serían una combinación de rocas apiladas, como pilares sosteniendo los maderos que funcionaban como tableros. Con el tiempo, supieron crear cuerdas que permitían unir los distintos elementos del puente, estas también sirven para crear primitivos puentes de cuerdas, atados a los dos extremos que se querían enlazar. En cierta manera así nacieron los puentes colgantes.(Peralta,2018)



En la Edad del Bronce se construyen los puentes con forma de arco. Algunos de ellos están intactos y han sido encontrados en el sur de Grecia, los mesopotámicos lo usaron en la arquitectura, los etruscos también aprendieron a usar el arco y transmitieron la técnica a los romanos. Esta última, fue la primera cultura en construir puentes de forma generalizada, por la necesidad de tener una red de calzadas bien comunicada y fija, lo que hizo que los ingenieros romanos construyeran una gran cantidad de estas obras, para salvar los ríos y valles que debían atravesar para el traslado de sus legiones, por lo que se considera fueron los precursores del hormigón y del cemento hidráulico.

En la Edad Media se construyen puentes, pero la ingeniería no avanza y se olvida de las propiedades y de cómo se produce el hormigón, por lo que los arcos se redujeron en tamaño. Este perdura con pocas variaciones, utilizando, a veces, el arco gótico. Mientras tanto, en el Imperio Inca se empieza a perfeccionar la construcción de puentes de cuerda, que serían los precursores de los puentes colgantes en América. Romero (2019)

El Renacimiento trae una nueva dimensión al diseño de puentes. En 1415 se recuperan los manuscritos de Vitrubio y empiezan a reaparecer las ruinas de la época romana. Estos hechos provocan que los ingenieros de aquella época retomaran el estilo clásico de los puentes, por lo que vuelve a adoptarse el arco de medio punto, considerándose un elemento funcional y un elemento artístico para una ciudad, dando signo de poder e influencia respecto a otras ciudades.

La Revolución científica conlleva a la mejor comprensión del funcionamiento de las estructuras. Esto cambia la forma de ver el material, los arcos podían cambiar de forma, rebajarse y estilizarse, buscando aprovechar el material. Así se impusieron los puentes de arcos rebajados y los de arcadas sucesivas, cuyo esfuerzo se apoya en pesados estribos en las orillas.

La historia de los puentes cambia radicalmente al aparecer nuevos materiales mucho más resistentes y que precisan de nuevas formas completamente inéditas hasta entonces.

El 1 de enero de 1781 se inaugura el puente de Coalbrookdale, el primero fabricado en hierro fundido, este, aún hoy en pie, es un puente de arco metálico, a imitación de los de piedra, pero el material es más resistente y más liviano.

En 1890 se construye en Escocia, el Forth Bridge con dos luces de 521,3 m. Este representa una nueva tipología, la de los puentes en ménsula. Consiste en hacer trabajar las vigas como voladizos, lo que facilita la construcción del mismo. Manteroal (2018)

En 1825 se completa el puente colgante de Menai, iniciando una nueva tipología de puentes. Al principio, los puentes colgantes se construyen de cadenas, lo que resulta peligroso, ya que la rotura de un eslabón suponía el fallo del tensor. Debido a esto ocurren varios accidentes en Francia, con la pérdida de vidas humanas, por lo que los ingenieros franceses no volvieron a construir un puente colgante hasta 1871 y, aún hoy, en Europa, existe tendencia a evitar construirlos. En América no fue así, los puentes colgantes tuvieron mucho éxito. A finales del siglo XIX Estados Unidos habían perfeccionado la construcción de estos, hasta alcanzar las enormes dimensiones actuales. En 1866, el puente de Roebling, sobre el río Ohio, con 322 m de luz, más tarde, en 1869, éste es superado por el puente del Niagara con 386 m y, en 1883 se termina el puente de Brooklyn con 486,3 m. El Golden Gate, en San Francisco, es uno de los grandes puentes más famosos del mundo, el cual es terminado en 1937, el mismo, no sólo fue pionero en su ingeniería, también lo fue en el uso de medidas de seguridad como redes para evitar caídas. Manterola (2018)

A principios de siglo XX, los puentes colgantes ya dominaban ampliamente las grandes luces. En 1931, se superó por primera vez el kilómetro en un solo vano, con el George Washington, en Estados Unidos. En 1937 se termina el famoso puente Golden Gate con un vano de 1280 m, el que perdura con el récord de mayor luz, hasta 1964.

Si bien, los proyectos de grandes estructuras colgantes son difíciles de financiar, las ventajas económicas que suponen para una región han hecho que se sigan planteando nuevas propuestas, aún mayores que los existentes, como el del estrecho de Mesina con 3 300 m de luz central. Por otro lado, el éxito de proyectos de túneles bajo estrechos, como el Eurotúnel o el Seikan, han hecho replantearse grandes proyectos de puentes como el del estrecho de Gibraltar. En otros casos se han adoptado soluciones híbridas (puente y túnel) como es el caso de Oresund, entre Suecia y Dinamarca, con excelentes resultados para la navegación marítima y el tráfico rodado. En la actualidad el puente colgante es una opción usual para vanos mayores a los 500 m y, la única posible para vanos superiores al kilómetro. Manterola (2018)

Los diseñadores de este tipo de obra, descubren que la combinación de ambas tecnologías –en arco con paso superior- permite construir puentes más rígidos, un ejemplo de esto, es el puente de las cataratas del Niágara construido por John Augustus Roebling. El ejemplo más antiguo y conocido de un verdadero puente atirantado es el de acero de Bluff Dale, ubicado en Texas, Estados Unidos, construido en 1890 por E.E. Ruyon.

En pleno siglo XX los ejemplos más pioneros incluyen a Gisclard, con el puente de Cassagnes -1899-, en el que la componente horizontal de las fuerzas es compensada por un cable puntal horizontal, previniendo así, la compresión significativa del tablero.

Eduardo Torroja Miret, un ingeniero español que diseña un puente atirantado para el acueducto del Tempul en la provincia de Cádiz, España en 1926.

Alber Caquot construye un nuevo puente atirantado con tablero de hormigón, sobre el canal de Donzère-Mondragon en Pierrelate, convirtiéndose en el primero con esta tecnología, pero aún, con una gran influencia de los diseños previos. El puente de tablero metálico Strösmund Bridge, diseñado por Franz Dischinger, también es citado como uno de los primeros puentes atirantados modernos. Manterola (2018)

El tiempo ha hecho que los puentes atirantados se hagan un lugar en el diseño y desplacen a los de ménsulas.

#### - Puentes en Cuba

Según el Lic. Juan de las Cuevas Toraya, historiador de la construcción, en su conferencia “Los Puentes de Cuba”, expuesta el día 20 de enero del 2006, reseñó que: la primera prueba documentada de la construcción de este tipo de obras, data de 1576, correspondiente el ejecutado sobre la Zanja Real ubicado en lo que hoy es la calle Galiano en la ciudad de La Habana, por la que se traía el agua del río Almendares, desde la Presa de Husillo hasta el Callejón del Chorro en la Plaza de la Catedral, se conoce que, en su largo trayecto, donde existieron varios de ellos. El puente más antiguo de Cuba, todavía en operación, es el puente San Lázaro en la calle General Gómez, Camagüey.

El proyecto de los estribos para el puente sobre el río San Juan, en Matanzas, confeccionado por Ibrahim de Lenamar, fechado el 20 de enero de 1774 y que pertenece al fondo del “Archivo de Indias”, en España.

De 1899 el puente La Caridad en Camagüey. El puente Yayabo en Santi Spiritus, proyecto del siglo XVIII, ejecutado en 1828; el puente Fuente Blanca en el antiguo camino de Guanabacoa a Guanabo; un puente de FFCC cerca de Unión de Reyes y, sobre el Río Almendares en la Calzada de Puentes Grandes en 1847.

En 1850 el Puente Alcoy, proyectado y ejecutado por el ing. Francisco Albear, construido de sillería y que une a Luyanó con el este del país, por la zona donde actualmente se ubica La Virgen del Camino, que se mantiene en uso.

En 1911 el puente de Pote, para cruzar la bahía, ubicado en la desembocadura del río Almendares; este es basculante y tenía que abrirse cada vez que pasaba un yate de los que fondeaban en el río, lo que ocasionaba congestiones de tránsito en la Quinta Avenida de Miramar y en la calle Calzada de Vedado, unidas por el referido puente, inaugurado el 28 de febrero de 1921. Fue sustituido por el túnel de la Quinta avenida o Calzada, como indistintamente se le conoce, que se abre al tráfico a comienzos del 1959.

El Almendares de la calle 23, donde por el ancho del mismo, constituye un cuello de botella, en la vialidad de la zona. El de los tranvías en la calle Línea en 1950, que estaba ubicado donde hoy está el túnel de Línea, este puente de hierro, que giraba sobre su apoyo central, colocándose paralelamente entre las dos riberas del río Almendares, se traslada hasta su actual ubicación en la calle 11 del Vedado, unos cien metros aguas arriba. Los habaneros de hoy lo conocen como el “Puente de Hierro y/o de las Bicicletas”, mientras que sus abuelos lo conocieron como el “Puente de los Tranvías “, estando el mismo en dos ubicaciones y con funciones distintas.

En Matanzas, se encuentran el General Figueras, sobre el río San Juan, el Puente Calixto García y el Puente de La Concordia.

Los de hierro, en la Carretera Central, los de río Hondo, río Tuinicú, Cauto Cristo, y río Contramaestre. En la Carretera Central se construyen con hormigón otros puentes, alcantarillas y viaductos, de los que se muestran el del río Guamá, el Moralitos y el Viaducto Yaguabo. La Carretera Central, cuando se construye, no tenía cruces a nivel con el ferrocarril en todo su trayecto, lo que era resuelto por elevados sobre el ferrocarril. Entre otros singulares se encuentran, el colgante sobre el río Agabama, en Cienfuegos de 1940 y 1944; el basculante de Paso Malo, en la entrada de Varadero de 1955 y del río Las Casas, en Nueva Gerona, Isla de Pinos. Otros destacados fueron el La Conserva, en

la carretera de Santiago a Guantánamo, sobre el río Bayamo, totalmente prefabricado, proyectado por el ing. Luis Saenz y que se considera un antecesor del de Bacunayagua. El paso superior “La Gabina”, en el entronque de la Carretera Central y la carretera de Güines, en La Habana. El Jatibonico; el paso superior de la Autopista del Mediodía con la Carretera Central en la salida oeste de la Ciudad de La Habana; el Cuyaguaje, construido en 1954 en Pinar del Río, y la reconstrucción en 1959 del Puente Zaza en la carretera Central.

La carretera a Mariel desde Santa Fe, tiene números puentes, muy interesantes por su diseño y ejecución, el Salado, Baracoa, Guajaibón, Santa Ana, Mosquito y Banes.

En la Vía Blanca entre La Habana y Matanzas, existen también puentes de interés, el Guanabo, el primero totalmente prefabricado construido en Cuba e inaugurado el 11 de diciembre de 1949. El puente en Santa Cruz del Norte, el Galgo, la Vega, Canasí y Boca de Jaruco. Especial mención merece el Guiteras, sobre el río Canimar, en la salida de Matanzas hacia Varadero, proyectado por el ing. José Menéndez.

Párrafo aparte merece la construcción del Bacunayagua, en el límite de las provincias de La Habana y Matanzas. Entre 1945 y 1946 se estudiaron varios proyectos que finalmente no se ejecutaron. El proyectista principal fue el ingeniero Luis Saenz Duplace. Su largo es de 313.50 m, y posee la luz más larga en un puente cubano, siendo también el de mayor altura con 113.50 m del nivel del río al pavimento. Está considerado entre las siete obras de ingeniería más importantes que se han realizado en Cuba en todos los tiempos. Después de 1959, se construye el del río Bayamo, el viaducto de La Farola, en la carretera que une a Guantánamo con Baracoa, otra de las siete obras básicas de la ingeniería cubana, y los puentes del pedraplen de Caibarién al Cayo de Santa María, que sin duda estará entre las obras más importantes de la ingeniería cubana.

De forma general, se puede establecer, que los puentes se han desarrollado a partir de la evolución del hombre y las transformaciones que éste les dio a las sociedades y que ha logrado transfigurar su estructura para convertirlos en un símbolo de su capacidad tecnológica.

### **Componentes.**

Están compuestos por dos partes: la infraestructura y la superestructura.

Infraestructura: “es la parte de la construcción que se encuentra bajo el nivel del suelo, está conformada por los estribos, pilas centrales, etc.” (Tapias & Pinzón, 2014) “...siendo estos los que soportan al tramo horizontal y todas las cargas que se encuentren en la parte superior y consiste de todos los elementos requeridos para soportar la superestructura” (Tapias & Pinzón, 2014)

Superestructura: es la parte de una construcción que está por encima del nivel del suelo, está ubicada en la parte superior del puente peatonal, que: “se construye sobre apoyos como son la losa, las vigas, estructura metálica. Siendo los elementos estructurales que constituyen el tramo horizontal, que une y salva la distancia entre uno o más claros” (Tapias & Pinzón, 2014). “Consiste en el tablero (losa) que soporta directamente las cargas y las armaduras; la superestructura está formada por: losa, viga y estructura metálica” (Tapias & Pinzón, 2014).

En la figura 1.1 se muestra la superestructura de un puente.

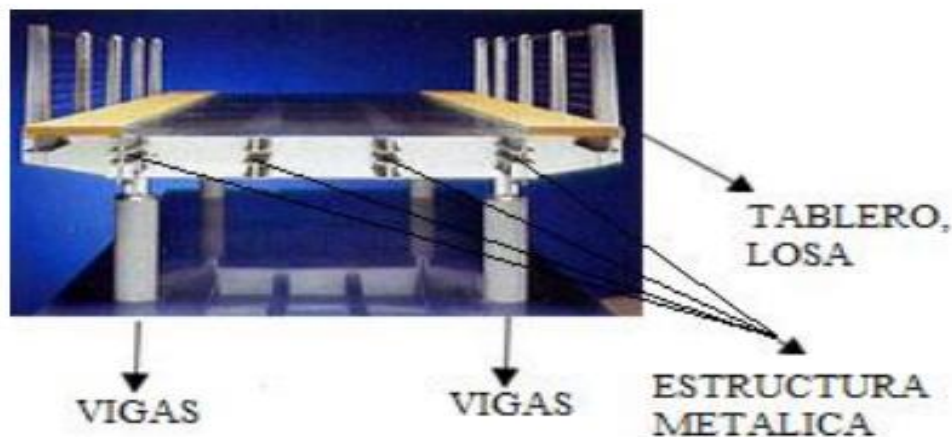


Figura 1.1 Superestructura de los puentes peatonales. Fuente: (Tapias & Pinzón, 2014).

En la figura 1.2 se muestra una estructura de puente peatonal, donde se muestra la infraestructura.

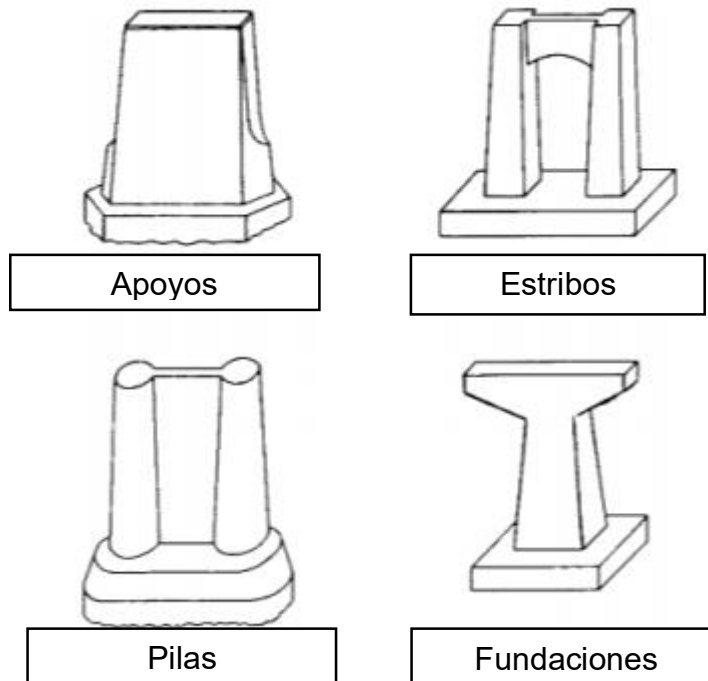


Figura 1.2 Infraestructura de los puentes peatonales. Fuente: (Tapias & Pinzón, 2014).

### **Clasificación.**

Las formas y diseños de los puentes varían en dependencia de su uso, posición y a las condiciones del terreno, es decir, con el devenir histórico de la sociedad, el hombre fue adquiriendo mayores conocimientos en la materia y se logran estructuras mucho más complejas y sofisticadas, con luces mayores y mejores diseños.

En la actualidad, cada desafío ingenieril, se convierte en una necesidad de ofrecer seguridad vial a todos los usuarios de la vía a partir del exceso de demanda, que produce incrementos en los tiempos de viaje -fundamentalmente en las horas puntas u horas pico-. Sus consecuencias se expresan en conflictos que pueden ser de congestionamiento y/o accidentes, lo que incentiva a los ingenieros en demostrar creatividad, en busca de hacer más confortables y seguros los itinerarios de viajes -desde un origen hasta un destino-, donde se valora no solo la utilidad sino también la estética, que puede convertir estas estructuras en verdaderas obras de arte -acorde al lugar de emplazamiento- y en ocasiones se generan verdaderas atracciones turísticas, con escenarios que sirven a sus usuarios y que ya no solo salvaguardan la vida a los peatones, sino que embellecen el paisaje.

Los puentes se clasifican por parámetros (materiales, condición de operación, sistema estructural, tecnología constructiva empleada, etc.) y según estos se establecen sus características. Estos parámetros y características se referencian a continuación en la tabla 1

Tabla 1.1 Parámetros y características de puentes

Parámetros	Características
Material	Mampostería, madera, hormigón armado, hormigón pretensado, metálicos y mixtos
Condición de Operación	Fijos, divisionales y definitivos
Sistema Estructural	Isostáticos e hiperestáticos
Tecnología Constructiva Empleada	Fundidos en el lugar, con estructura prefabricada y mixtos
Forma	Arco o arqueados, colgantes, de viga y losa
Anclaje	Fijos, móviles y de pontones
Ubicación de la calzada	Inferior y superior
Según su uso	Peatonales, vehiculares, ferroviarios

Fuente. Carballo (2020).

Los puentes peatonales elevados, constituyen una de las medidas más efectivas para reducir la accidentalidad en un punto de gran flujo vehicular y peatonal. Estos evolucionan con el paso del tiempo y se descubren diseños cada vez más eficientes e innovadores, donde se ven implicados diferentes materiales y estructuras hasta llegar a conformar el modelo más acertado en cada situación.

## 1.2 Caracterización de los puentes peatonales.

El puente peatonal recorre un largo camino desde que empieza como un simple arco encima de un desnivel del terreno. Estas estructuras singulares que permiten el paso sobre cuerpos de agua, vías de tráfico y valles montañosos, cobran cada vez más protagonismo en el mundo entero.

En los últimos años se le da una mayor importancia al diseño de estas construcciones que, al estar concebidas para soportar cargas menores y atravesar cortas longitudes,



permiten mayor libertad formal y gozan de una carga simbólica especial, transformándose en íconos urbanos o hitos en el paisaje. (Carballo, 2020)

El puente Simone de Beauvoir, en París, fue completado en 2006 y sus plataformas permiten el paso sobre el río y las atareadas calles paralelas al Sena. Cinco rampas distintas conectan las riberas a distintas alturas, así como un parque, y un área protegida en el centro ofrece refugio de la lluvia.



Figura 1.3 Puente Simone de Beauvoir en París. Fuente: (Wikipedia)

El Melkwegbridge en Holanda, completado en 2012, el cruce del canal a la altura de Purmerend es realmente dos puentes. El primero, a una altura de 12 metros a nivel del mar, ofrece a los peatones una vista de las áreas histórica y nueva de la ciudad, y permite que los barcos pasen por abajo. El segundo es una rampa accesible en bicicleta o silla de ruedas, y está formado por dos partes que se separan cuando pasan barcos. Los responsables de su construcción aseguran que el puente no solo ayuda al cruce, sino que es una atracción en si mismo.



Figura 1.4 Puente Melkwegbridge en Holanda. Fuente: (Wikipedia)

El Peak Walk en Suiza, se inaugura en octubre de 2014, es el primer puente suspendido peatonal en el mundo que une dos cumbres de montaña. Tiene 107 metros de longitud y un mirador con vistas al Mont Blanc.



Figura 1.5 El puente Peak Walk en Suiza. Fuente: (Wikipedia)

En estos ejemplos internacionales de pasos peatonales elevados se puede percibir que es una de las medidas más efectivas para salvar obstáculos, lo que permite inferir su capacidad para reducir la accidentalidad en un punto de gran flujo vehicular y peatonal, se aprecia la evolución de estas estructuras con el paso del tiempo descubriendo diseños cada vez más eficientes e innovadores, donde se ven implicados diferentes materiales y sistemas estructurales hasta llegar a conformar el modelo más acertado en cada situación. (Carballo, 2020)

### **Caracterización de los puentes peatonales en Cuba**

Se asumen aspectos comprobados en la realidad de la construcción de puentes en Cuba, que prácticamente no se construyen este tipo de estructuras y las existentes por una mala ubicación o deficiencias en el diseño no son explotados como se preveía o están simplemente en desuso porque no se ha logrado entre los cubanos la cultura vial necesaria para el uso de estos. Por lo que se prefieren utilizar métodos menos efectivos, pero más baratos para mejorar la seguridad vial. Aunque existen otros que si son empleados y que justifican su construcción.

A continuación, se exponen diferentes ejemplos de este tipo de estructura en el país:

El puente peatonal, ubicado frente a la Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría" (CUJAE). Ubicado en una vía de alto volumen vehicular, sirve de acceso a estudiantes y trabajadores de la institución. Por su forma, es un puente de viga, estas son de acero mientras que la losa es de hormigón armado. Los accesos son escaleras y no está techado. En el separador central de la carretera que salva se encuentra una valla como dispositivo de bloqueo que impide que algún peatón imprudente cruce. (Carballo,2020)



Figura 1.6 Puente peatonal de la Universidad CUJAE. Fuente: (Romero, 2019).

El paso peatonal Matanzas Este-Versalles, y conductora de agua sobre el río Yumurí en Matanzas. Cuenta con una losa de tablero de hormigón armado de 4,10m de ancho y 0,12m de espesor, que se apoya sobre dos vigas de 0,70m de altura o peralto. La subestructura se alcanza con pilotes-columnas que se vinculan en su parte superior por vigas cabezales. Tiene cuatro luces de longitudes diferentes. En el acceso a Versalles se construye una escalera para asumir el desnivel entre la losa y el terreno en esta margen del río Yumurí, totalmente urbanizada. Se mantiene en buen estado. (Cables,2020)



Figura 1.7 Puente peatonal sobre el Río Yumurí. Fuente: TV Yumurí (2015)

Sobre el río Yumurí, comunica el barrio de Matanzas Este con el de Versalles, a la altura del Parque Watkin. En 1990 se modifica su estructura rústica de madera a hormigón armado (pilotes, pórticos y losa de circulación) con barandas metálicas de inferior calidad. Esos pórticos tienen un doble apoyo, el inferior para soportar la tubería del acueducto y el superior para las losas del pavimento. Los accesos se logran con rampas en ambos márgenes, que rompen las barreras arquitectónicas. Se repara en múltiples ocasiones sin que se alcance una obra estéticamente aceptable. La circulación de personas se mantuvo con un alto nivel de peligrosidad por encima de la conductora de agua. El estado de fallo se alcanza hacia el año 2001 y se debe a que durante décadas no fue sometido a acciones de conservación. La solución de proyecto a cargo del ingeniero civil Joaquín Martínez Borduy, quien dirigió la obra, no incluye modificaciones, solo restitución y reconstrucción de elementos dañados y desaparecidos. Los trabajos se inician en mayo del 2001 y concluyen cinco meses después. (Carballo,2020)

En la Provincia de Holguín, Municipio Holguín la mayoría de las pasarelas sirven de paso elevado sobre los ríos Jigüe y Marañón y conectan los barrios urbanos y periféricos de la ciudad. La mayoría son estructuras metálicas simples y rústicas sin mayor impacto visual. Contrariamente a estas condiciones son los más utilizados dentro de esta rama, pues permiten el tránsito vehicular y peatonal entre los barrios y la incorporación a las diferentes vías de acceso. (Carballo,2020)

Los edificadros en la ciudad y carreteras para mejorar el flujo vehicular y reducir la accidentalidad están en total desuso. El ubicado entre los repartos La Aduana y Plaza, más conocido como El Elevado del municipio de Holguín, que sirve para que los niños de la Escuela Primaria Tony Alomá crucen de forma segura la avenida Libertadores, una de las principales de la ciudad. Esta estructura es de hormigón armado con un sistema que asemeja el Sistema Típico Soviético Cubano, utilizado mucho en el país para la construcción de puentes. Presenta como apoyo, dos columnas en cada extremo de las pasarelas, las cuales soportan las vigas y la losa. Igualmente se repiten los accesos en escalera. Lamentablemente no está siendo explotado al 100% debido que en el lugar de su emplazamiento no hay un gran número de peatones. (Carballo,2020)



Figura 1.8 Elevado sobre la avenida Los Libertadores. Fuente: (Romero2019).

Aunque en encuestas elaboradas por Martin (2018), en las cercanías a Las Baleares, demostraron que los peatones sí están dispuestos a utilizar estas estructuras. Muchos concuerdan con el hecho de que si pudieran recurrir al paso subterráneo de esta zona lo harían gustosamente, pero este, por la propia indiferencia del gobierno y de las entidades a quien pertenece, se encuentra en estado deplorable (figura 1.4).



Figura 1.9 Estado del cruce peatonal Pirijot (*Perejov* en ruso) de Manuel. Fuente: (Romero 2019).

El puente peatonal que sin dudas es uno de los principales accesos al estadio Calixto García. Este es visitado diariamente por una gran población que lo considera casi un símbolo del territorio holguinero. En material hormigón armado su gálibo es más bajo que los anteriores mencionados porque en esta ocasión no está sobre una vía de circulación vehicular. La pasarela es más ancha de lo común, siendo una losa soportada por vigas sobre columnas centrales. Nuevamente accesos en escalera.



Figura 1.10 Puente peatonal del estadio Calixto García. Fuente: elaboración propia (2020).

En el municipio Mayarí se ubica otro ejemplar de los más significativos con que cuenta nuestra provincia, es en su totalidad de acero, con estructura en forma de cercha en la parte inferior de la pasarela.



Figura 1.11 Puente peatonal del municipio Mayarí provincia Holguín. Fuente: (Romero 2019).

Todo lo expuesto anteriormente refleja que, los puentes peatonales de Cuba no son estructuras complejas ni han tenido una evolución a lo largo del tiempo. Los pocos que existen tienen como material el hormigón armado, el acero o mixtos. Su estructura consiste en columnas que soportan vigas y losas. Tienen algunas limitaciones como: falta de accesos para las personas con discapacidad físico motoras, carencias de iluminación y falta de techados, lo que deja a los transeúntes a merced de las inclemencias del tiempo.

Si a esto se le suma que en el país hay un déficit considerable de normas y reglamentos que rigen la construcción de estas edificaciones, por lo que en el trabajo de Romero

(2019) se plantean consideraciones sobre el tema, como se puede observar en la fig. 1.7, aspecto que es tratado en el siguiente epígrafe. Por lo que, a consideración del autor, se puede afirmar que Cuba no es una potencia en el tema, mientras que en el mundo se pueden encontrar una gran variedad de estas estructuras.

**1. 3 Consideraciones para la concepción de puentes peatonales.**

Se toma como referencia el resultado de investigación realizada por Romero (2019), donde se define en un organigrama las consideraciones que determinan la necesidad de una solución de este tipo figura 1.7.

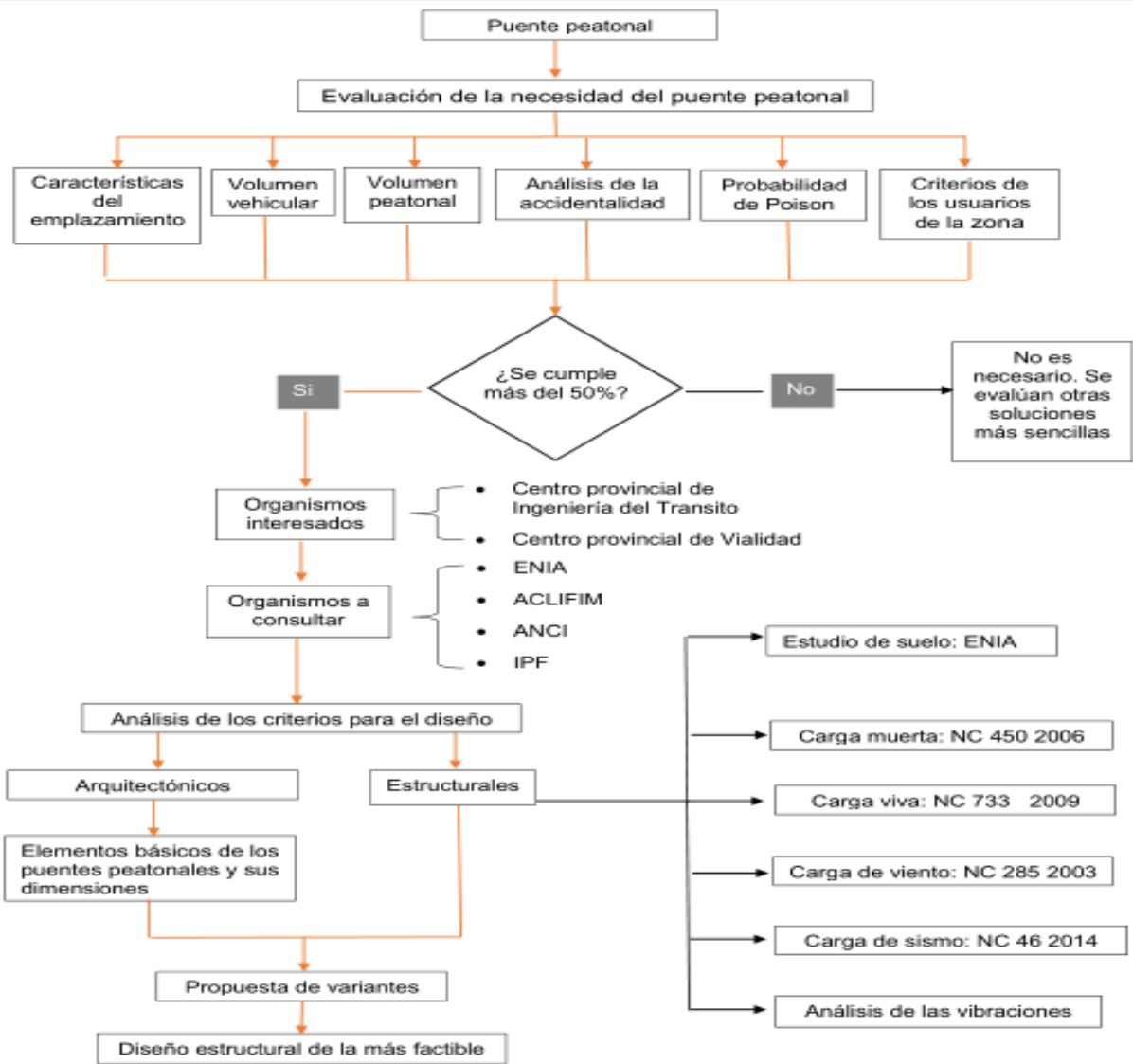


Figura 1.12 Organigrama. Fuente: (Romero, 2019).

### 1.3.1 Criterios arquitectónicos.

Al no contar en nuestro país con una norma específica que sirva de guía para el diseño y construcción de estas estructuras, se hace necesario retomar los análisis realizados por la investigadora Romero (2019) donde apoya su trabajo en el estudio de reglamentos de construcción en el Manual chileno de carreteras, Edición 2016.

el cual plantea los siguientes elementos a tener en cuenta, que se manifiestan de manera significativa en el cruce objeto de este trabajo.

- Existen puntos bien definidos de generación de tránsito de peatones
- El volumen del cruce de peatones en una hora es aproximadamente de 782 personas.
- El tipo de carretera a cruzar es una vía principal (confluencia entre Carretera Central y avenida Los Álamos)
- Este cruce es utilizado por personas de entre 5 - 70 años.
- Próximo a la intersección existen varios centros escolares de diferentes niveles de enseñanza y a pocos metros se encuentra un policlínico comunitario.

Durante el desarrollo del diseño se tienen en cuenta los criterios arquitectónicos expresados en el trabajo de Romero (2019), sustentados en el artículo 14 del decreto ley 279 de la Alcaldía mayor de Bogotá, Colombia, como son, garantizar la salubridad e integridad física de las personas y la estabilidad de los terrenos, edificaciones y elementos constitutivos del espacio público. Igualmente, los referidos al artículo 5 inciso a del mismo decreto al tener en cuenta el proyecto definitivo de la vía vehicular y de las peatonales sobre las que se plantea, y la no afectación a las infraestructuras y redes ubicadas en el subsuelo, así como sus desarrollos futuros.

El inciso “b” del citado artículo se complementa, en cada una de las variantes al mantener libres las vías vehiculares existentes y previstas. La elección del acero como material de construcción de la pasarela, así como la configuración de los diseños propuestos es compatible con el inciso “d” al garantizar estructuras livianas fácilmente desmontables. Según Romero (2019) al ser una estructura especial para peatones cumple con ciertos requisitos para su movilidad entre los que se encuentran:

- El andén orienta claramente los flujos de circulación hacia el arranque de la escalera, el ascenso y la rampa.



- En el arranque de la escalera, la rampa o ascensor, se prevé cambio de textura en el piso.
- Permite la instalación de elementos de seguridad como iluminación, drenajes, rejillas y techo.
- La pintura de los pasamanos será en color contrastante para facilitar la ubicación a personas con dificultad visual.
- El piso es antideslizante en seco o mojado, utilizando láminas de acero con textura para este objetivo.
- Se cuenta con pasamanos continuos y sin interrupciones.
- Las barandas se proponen de 1.20m de altura para brindar seguridad física y en barrotes de tubos para garantizar transparencia visual.
- Los accesos no son obstáculos, por el contrario, estos forman parte de una solución para la conectividad.

Además de estos criterios, se cumplen otros requerimientos importantes como son:

- Dimensión vertical libre mínima de 5,00 metros debajo del puente (gálibo).
- Presentar todas las señalizaciones necesarias.
- Considerar una pendiente máxima de las rampas de 5.0%.
- Pendiente transversal máxima en el puente de 2.0%.
- Cuando la longitud horizontal de las rampas excede 15 metros, prever un descanso al final de esta.

### **1.3.2 Criterios estructurales.**

Para el diseño estructural de los puentes peatonales se deben evaluar criterios como el estudio de suelo y las cargas a las que estará sometida la estructura.

- Estudio de suelo:

“Las subestructuras de puentes transmiten esfuerzos al terreno natural bajo ellas; esos esfuerzos a su vez, producen deformaciones que se reflejan en el comportamiento estructural de las mencionadas subestructuras; de ahí la necesidad de estudiar el terreno de apoyo o cimentación de éstas. Finalmente, la interacción del terreno de cimentación y la subestructura afecta de tal manera al comportamiento conjunto, que es de extrema importancia el estudio de los métodos a disposición del ingeniero para modificar las

condiciones del terreno de cimentación cuando sean desfavorables, convirtiéndolas en más propicias; tales métodos también requieren atención”. (Tapias & Pinzón, 2014, p.22)

- Carga muerta (G)

Se considera como carga muerta el peso de la totalidad de la estructura, el cual incluye: escaleras de acceso, columnas de apoyo, barandas, tablero, vigas y accesorios (IDU, 2006). Las cargas muertas o llamadas también cargas permanentes; 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 & Pinzón, 2014). De acuerdo a la Norma Cubana (NC) 450 del 2006, la carga muerta es la que, durante la construcción y vida útil de la estructura, actúa en forma constante (por ejemplo: carga de la masa de la estructura). En la misma norma se le denomina como G.

- Carga viva (Qu)

“Las cargas vivas o sobrecargas 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. Así, las cargas vivas pueden ser generadas por cuerpos en movimiento o por cuerpos que puedan ser desplazados” (Tapias & Pinzón, 2014). En la NC 450 del 2006 se define como Qu y son las cargas de muebles, personas, equipos tecnológicos, materiales almacenables y transportables, etc. que se presentan en las edificaciones y obras civiles durante la construcción y la vida útil y que responden a la función, servicio o uso. Su duración y período de acción tienen un carácter variable y aleatorio. También pueden ser consideradas como tales las cargas presentes durante la construcción.

- Carga de viento (W)

“El viento es un fenómeno natural al que la mayoría de las estructuras están expuestas. En ingeniería resulta práctico considerar que el viento produce una presión cuya magnitud es proporcional a su velocidad, que esta presión es uniforme en todas las áreas expuestas a su acción y que dicho efecto puede provenir de cualquier dirección (Tapias & Pinzón, 2014). En la NC 450 del 2006 se define como el “efecto en forma de fuerza que surge en las estructuras y elementos de edificaciones y obras civiles debido a la acción de los vientos extremos y no extremos sobre los mismos” y se le denomina W. En el caso

de estudio en cuestión se encuentra en la Zona III con una presión básica del viento de  $0.9 \text{ kN/m}^2$

- Cargas sísmicas ( $E_x$ ), ( $E_y$ )

Las cargas sísmicas en una estructura se originan debido al movimiento altamente irregular que experimenta el terreno de fundación de la misma 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 (Tapias & Pinzón, 2014). En la NC 450:2006 (Edificaciones—Factores de carga o ponderación—Combinaciones) se denomina como W. “Para pasos peatonales los valores de la carga sísmica se determinarán con el peso total de la estructura más el peso de piezas, accesorios e instalaciones de redes técnicas” NC 733: 2009 (Carreteras-Puentes y alcantarillas-Requisitos de diseño y Método de Cálculo). En el caso de Holguín se encuentra en la Zona Sísmica 2

- Vibraciones:

Las vibraciones deben ser investigadas como un estado límite de servicio (Olivas, 2001). La vibración de la estructura no deberá causar incomodidad o preocupación para los usuarios de un puente peatonal. Una estructura tiene un periodo de oscilaciones propias que están en función de la rigidez de la misma. Si las frecuencias que provocan en este caso el caminar de los peatones o el paso de los vehículos bajo el puente peatonal, se iguala con la frecuencia natural del puente este entra en resonancia y por consiguiente colapsa.

Por esto cuando se hace el diseño de una estructura que estará bajo la acción de fuerzas dinámicas es necesario revisar que las oscilaciones propias del elemento estén lo más lejos posible de las oscilaciones que causan la excitación. En caso de que esto no se cumpla se deben cambiar elementos como: el material, las condiciones de apoyo, entre otros que variarán el modo de frecuencia. Los programas computacionales de diseño dan el periodo de oscilación de las estructuras, por tanto, solo hay que buscar las cargas excitadoras y realizar una comparación para determinar que no hay peligro de resonancia en ninguna de las formas de oscilación en las que se deforma la estructura. Los puentes

de hormigón son menos susceptibles a las vibraciones con respecto a los metálicos, pero aun así es recomendable realizar el chequeo.

Utilizando este organigrama se dio inicio a diseños de puentes mediante pasarelas en forma de pórticos de estructuras de hormigón y estructuras metálicas por Cables (2020) y Carballo (2020) para darle solución al cruce en la zona donde se enmarca esta investigación donde los resultados no fueron los esperados.

#### **1.4 Resultados del estado del arte sobre investigaciones anteriores de este caso de estudio.**

La intersección se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de Holguín. Consta de cuatro accesos: la carretera Central, que se divide en acceso Este (Centro Ciudad), el Oeste (Ciudad Jardín), Norte (calle Patria) y el Sur (calle Justo Aguilera). La siguiente tabla describe geoméricamente las características de la intersección caso de estudio.

**Tabla 1.2 Características geométricas de la intersección de La Plaquita**

Características	Norte	Sur	Este	Oeste
Ancho de calzada (m)	6.0	6.0	13.5	14.5
Ancho medio de carril (m)	3.0	3.0	3.5 y 3 *	4.0 y 2.5*
Ancho de contén (m)	0.5	0.5	0.5	0.5
Ancho de acera (m)	1.80	1.80	1.80	1.8
Tipo de pavimento	Flexible			
Presencia de separadores	No		Sí	
Cantidad de carriles	2		4	3
Giros permitidos	recto, izquierdo, derecho			
Carriles exclusivos	No		Sí	
Pendientes longitudinales %	2.6	-2.0	1.8	- 2.5
Altura de los contenes (m)	0.15			

Fuente: Cables (2020)

Próximos a la intersección se encuentran, los repartos Lenin y Harlem, la residencia estudiantil de la Universidad de Ciencias Médicas “Mariana Grajales”, el policlínico “Mario

Gutiérrez”, dos paradas de ómnibus con gran demanda, una panadería, la tienda “La Proletaria”, tres escuelas primarias, cuatro círculos infantiles y una secundaria, además de varias viviendas que forman parte del entorno.

A partir del análisis de los resultados de las investigaciones referenciadas anteriormente, se determina realizar el estudio de la variante en arco como posible solución a las exigencias de las partes interesadas en el proyecto, para lo cual se desarrolla el siguiente epígrafe, ya que no se obtuvieron los resultados esperados.

### **Vicet (2018)**

Examina la accidentalidad en la intersección, así como un estudio de tránsito completo analizándose volúmenes de vehículos, el Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD), estudios de velocidades, nivel de servicio. Realiza un grupo de propuestas como son el aumento de la educación vial en la periferia de la intersección por la deficiente preparación existente, el incremento de las propagandas informativas alrededor de la intersección y mayor control por parte de los agentes del MININT, se propone el cambio de sentido del acceso Patria dejándolo en un carril de un solo sentido de entrada con el propósito de evitar los congestionamientos existentes en la intersección principalmente cuando se realiza el giro a la izquierda y se considera la puesta en práctica de un semáforo tanto de tipo peatonal como de circulación vehicular.

### **Romero (2019)**

Plantea la necesidad de la construcción de un puente peatonal teniéndose en cuenta la accidentalidad creciente en esta intersección, así como analiza las ventajas de los puentes como una solución eficiente para puntos de conflicto de alta demanda peatonal; también realiza un organigrama de ejecución para su diseño, las variantes propuestas son válidas de acuerdo a la opinión de expertos.

### **Cables (2020)**

Proyecta el diseño estructural del puente tipo viga-columna de hormigón armado y expone 3 variantes de diseño y la más conveniente es la que cuenta con condiciones de apoyo empotrado-empotrado, se realiza considerando una viga de sección T con 2.00 m de ala y 1.38 m de alma se determina que la misma no puede ser construida utilizando

como material el hormigón armado ya que se obtuvieron resultados absurdos e ilógicos, ya que por cálculo no se necesita refuerzo de acero transversal en una viga de 30m y además el espaciamiento máximo de cálculo es de 1.27cm mucho menor al espaciamiento máximo permisible de 60 cm, solo será construida si se utiliza el hormigón pretensado o algún otro material. Lo que no corrobora la veracidad de la hipótesis planteada, que constructivamente no es factible, debido a que la solución de la variante sugería un aumento del peralte de la viga que repercute en la altura a salvar por los peatones con el consecuente rechazo del tránsito por este puente Lo que no corrobora la veracidad de la hipótesis planteada.

### **Carballo (2020)**

Concibe el diseño del puente donde se usa como material principal el metal, y propone 3 variantes de proyecto; la variante adecuada es la conformada por dos pórticos paralelos entre sí conformando una cercha con columnas de 5 m y se añaden unas crucetas y arriostres entre las columnas y debajo del tablero para rigidizar la estructura los resultados obtenidos demuestran que esta opción es la más factible, lo que demuestra la veracidad de la hipótesis planteada, pero por requisitos de los inversores no es posible porque hay que salvar la luz total de 30m en un solo pórtico.

### **1.5 Puentes en arco**

Las construcciones en arco son estructuras factibles en ciertas construcciones con características especiales fundamentalmente cuando hay q salvar grandes luces y también para reducir un poco aquellas estructuras que demandan dimensiones muy grandes que por tanto exigirían mayor consumo de materiales y por ende generan mayor peso a la estructura en el caso específico de las estructuras de puentes para cruce peatonal puede ser muy beneficioso la misma curvatura posibilita el acceso de los ramales en el ascenso y descenso de los peatones.

Este tipo de estructuras se pueden realizar de diferentes maneras. Según plantean (Ramos y Paiz, Guatemala 2010) un puente de arco típico consiste en dos o más arcos paralelos, o series de arcos, para soportar la estructura de la cubierta o la pasarela como tal que pueden tener o no contraventeos laterales que no son más que elementos estructurales que rigidizan la edificación distribuyen los esfuerzos producidos por los

diferentes tipos de carga y los transmiten a la cimentación lo que posibilita construir edificios con grandes claros y alturas con diseños eficientes y económicos.

Los puentes con cubiertas por arriba de los arcos y espacios libres por abajo (figura 1.13-a) se diseñan como arcos de tímpano abierto sobre estribos que resisten el empuje, este tipo es usualmente el más económico.

Los puentes con cubierta cerca del nivel de los apoyos (figura 1.13-b) se diseñan normalmente como arcos con tirante, donde éste toma el empuje del arco. Los apoyos en los extremos y los estribos son similares a los puentes de traveses o de armadura.

Los puentes con cubiertas en un nivel intermedio (figura 1.13-c) pueden ser con tirantes, los cuales descansan en apoyos que resisten el empuje, o pueden combinarse estructuralmente con claros laterales que aligeren el empuje del claro principal sobre las pilastras o pilares principales (figura 1.13-d).

Los claros de los puentes de arco múltiple, en general están separados estructuralmente sobre los pilares, pero tales puentes también se diseñan como estructuras continuas.

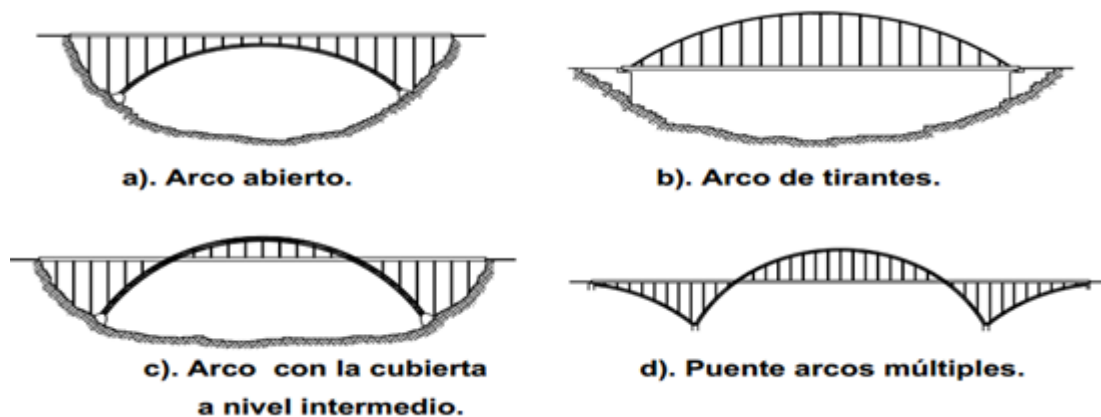


Fig. 1.13 Tipos de puentes en Arco Fuente: (Ramos y Paiz, 2010)

Estos son solo unos ejemplos representativos de las soluciones de estructuras en forma de arco. En el próximo capítulo se analizará esta alternativa como solución al conflicto peatón-vehículo presente en el emplazamiento del caso de estudio. De acuerdo a todo lo abordado en este capítulo se arriban a las siguientes conclusiones.

## **Conclusiones del capítulo.**

- De acuerdo a las revisiones bibliográficas se pudo constatar la importancia que tienen los puentes peatonales para brindar una mejor seguridad vial al transeúnte ante los altos flujos vehiculares con los que se interceptan, sin embargo, en Cuba no es una medida muy difundida y las pocas estructuras existentes no son muy empleadas y no se pudo evidenciar una norma referida a puentes peatonales, criterio avalado por especialistas de la rama.
- En el país las pasarelas existentes son pocas, no constituyen estructuras complejas, no han obtenido una evolución con el tiempo, están construidas fundamentalmente de hormigón armado, acero y mixtos, les faltan elementos de accesos para las personas en condiciones de discapacidad físico motoras, poseen insuficiencias de medios ergonómicos y no es explotado su uso; en la provincia de Holguín existen sólo tres, y solo uno, el puente de acceso al estadio "Estadio Calixto García" es explotado regularmente.
- Se parte de estudios realizados de investigaciones anteriores en el emplazamiento objeto de estudio, donde a pesar de las soluciones aportadas, no se han podido utilizar a partir de los requerimientos planteados por los inversores.
- A partir del análisis del emplazamiento y las condicionantes del inversionista y las tipologías de arco, se determina que las mejores variantes a emplear son: arco con pasarela intermedia y/o con pasarela superior.

Todo lo antes expuesto sirve de base para establecer en el capítulo II la propuesta de una variante de puente peatonal en forma de arco que satisfagan la necesidad presente en la intersección caso de estudio y los requerimientos planteados por los inversores en propuestas de trabajos anteriores.



## **CAPÍTULO II. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PUENTE PEATONAL EN FORMA DE ARCO EN LA INTERSECCIÓN DE LA PLAQUITA, CIUDAD DE HOLGUÍN.**

### **2.1 Introducción.**

En este capítulo, se analizan y diseñan las diferentes propuestas, siguiendo el algoritmo que se define en el capítulo anterior, con variantes de puentes peatonales en forma de arco con pasarela intermedia y superior, para realizar la propuesta de implantación en la intersección de La Plaquita, en la ciudad de Holguín. Se presentan los resultados de la revisión de informes de estudios ingeniero - geológicos realizados en la zona por la Empresa de Investigaciones Aplicadas No. 6 de Holguín y el levantamiento realizado al sitio; se expone, además, el cálculo de las cargas actuantes sobre el puente. Se muestra el proceso de modelación, análisis y diseño de cada una de las propuestas utilizando el software especializado *CSiBridge v.15*, lo que evidencia las ventajas de su utilización por la fiabilidad de los resultados obtenidos, la eficiencia y rapidez lograda en el proceso de diseño.

### **2.2 Descripción del Software CSiBridge v.15**

Es un software totalmente independiente que integra las capacidades de modelado, análisis y dimensionamiento de estructuras de puentes en un único modelo, para satisfacer las necesidades de los profesionales de ingeniería. La facilidad con que todas estas tareas se pueden lograr, hace del CSiBridge el software más versátil y productivo actualmente disponible en el mercado. Tiene como requisitos mínimos:

- SO (Sistema Operativo): Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8;
- Procesador: 2 GHz Dual Core o mayor;
- Memoria: 2GB de RAM;
- Gráficos: 1024 MB
- DirectX: Versión 9.0c
- Almacenamiento: 600MB de espacio disponible en Disco Duro

Con CSiBridge, los ingenieros pueden definir fácilmente geometrías complejas de puentes y diversos tipos de cargas y análisis. El modelado es basado en la definición paramétrica de los varios elementos estructurales, utilizando términos que son familiares

para los ingenieros de puentes, como las líneas de layout, tramos, sección del tablero, aparatos de apoyo, estribos, pilares, juntas y pos-tensado. El software permite crear modelos tipo spine, shell o solid, que se actualizan automáticamente cuando se cambian los parámetros de definición del puente.

CSiBridge permite el dimensionamiento rápido y eficaz y el refuerzo estructural de puentes existentes de hormigón y metálicos. El modelado paramétrico permite al usuario construir modelos de puentes simples o complejos y hacer cambios de manera eficiente, manteniendo un control total sobre el proceso de dimensionamiento. Permite definir rápidamente los carriles y vehículos e incluir también los efectos de ancho (consideración automática de la distribución transversal de cargas).

### 2.3 Diagnóstico del emplazamiento

Toda obra constructiva se encuentra ubicada en un espacio determinado, cuyas particularidades condicionan la labor del proyectista según los requerimientos que se planteen para su explotación, de ahí la importancia de realizar un levantamiento detallado del sitio donde se seleccione construir el puente peatonal La Plaquita. El organismo inversionista dispone que el mismo se propone siguiendo el trazado de un cruce de peatones existente en el lugar (figura. 2.1).

La intersección en cuestión, se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de Holguín. Consta de cuatro accesos: la carretera Central, que se divide en acceso Este (Centro Ciudad), el Oeste (Ciudad Jardín), Norte (calle Patria) y el Sur (calle Justo Aguilera).



Figura 2.1 Micro localización de la edificación a diseñar. Fuente: Romero (2019)

Próximos a la intersección se encuentran, los repartos Lenin y Harlem, la residencia estudiantil de la Universidad de Ciencias Médicas “Mariana Grajales”, el policlínico “Mario Gutiérrez”, dos paradas de ómnibus con gran demanda, una panadería, la tienda “La Proletaria”, tres escuelas primarias, cuatro círculos infantiles y una secundaria, además de varias viviendas que forman parte del entorno.

Según las características de tránsito para el tramo de estudio, presenta alineamientos rectos, existen ligeras pendientes longitudinales, se cuenta con dos calzadas de dos carriles cada una, y se dispone de superficies de rodadura en buen estado, se desarrollan velocidades superiores a los 40 km/h.

En cuanto a los volúmenes obtenidos por Vicet (2018), se establece que por el corredor transitan en la hora de máxima demanda, 1500 veh/h, de los cuales se estima que entre el 80 y el 85% son livianos. Por su parte, el volumen peatonal es alto, con una importante concentración en los periodos de 7:00 a 8:00 am con aproximadamente 800 personas.

Se realizó el levantamiento del lugar de implantación con la ayuda de la cinta métrica. Se presenta el plano detallado en la figura 2.2.



Figura 2.2 Cruce peatonal existente sugerido por el organismo inversionista como emplazamiento para el puente peatonal. Fuente: Carballo (2020)

Según el levantamiento realizado por Carballo se muestra en la figura 2.3 una representación en planta con las dimensiones transversales del emplazamiento

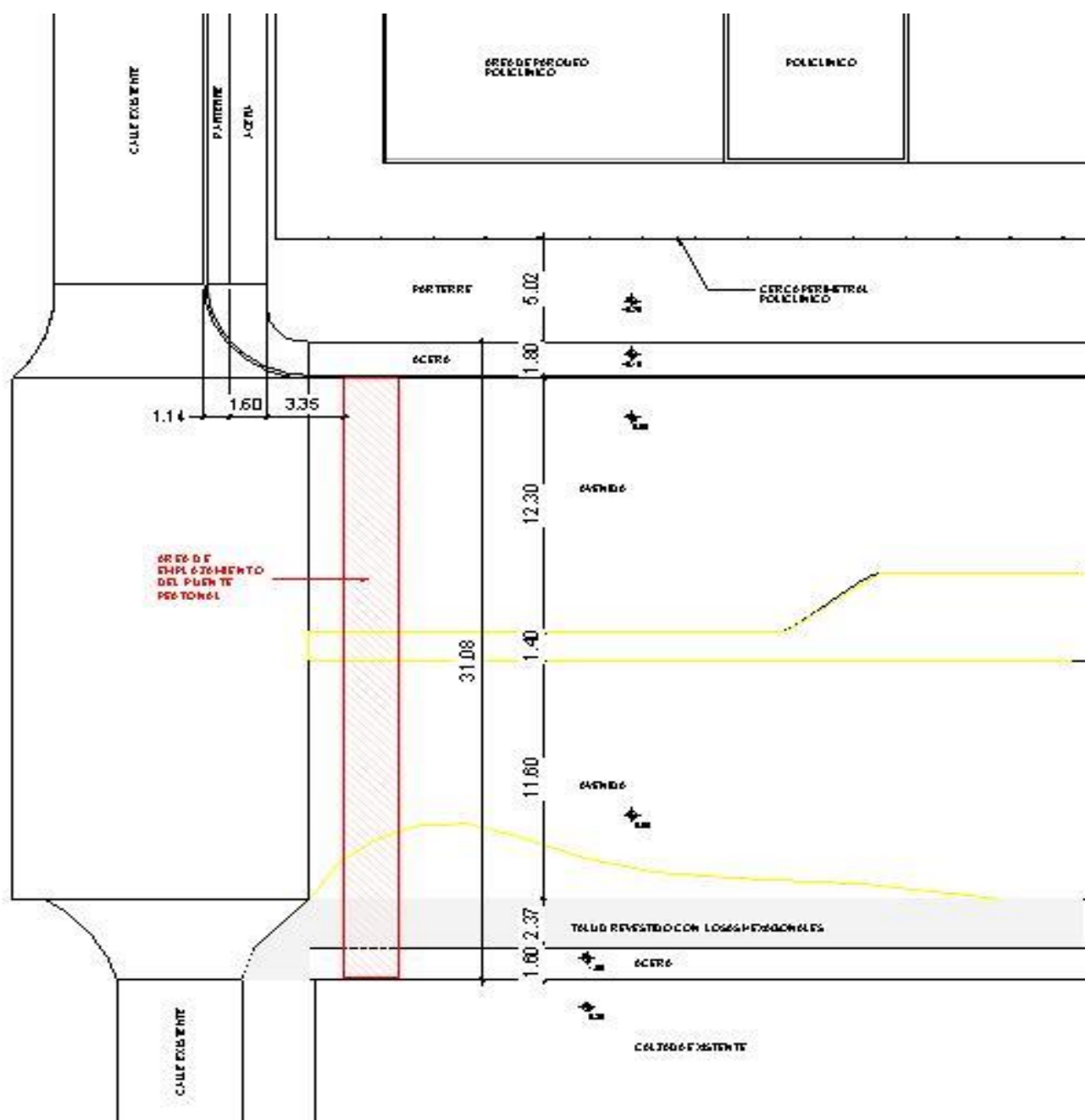


Figura 2.3 Levantamiento emplazamiento puente peatonal La Plaquita. Fuente: Carballo (2020)

## **2.4 Estudio de suelos.**

Los datos que suministra la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA), permiten conocer las características del suelo y definir el tipo de cimentación a utilizar. La capa vegetal se encuentra limitada en parches y zonas fuera del actual paseo de la vía.

El informe más actualizado lo brinda la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas ENIA. No. 6 de Holguín en el año 2004, el mismo se realiza para el proyecto técnico ejecutivo de la ampliación de la Carretera Central. El suelo que más abunda es la peridotita serpentizada (Anexo 1) con una capacidad portante de 2.5 kgf / cm<sup>2</sup> obtenida del ensayo de compresión axial. El estrato descrito se encuentra a una profundidad aproximada de 1.0m.

En consulta con el ing. civil Ramón Romero Parra (2020), especialista en cimentaciones de dicha entidad y actualmente en proceso de jubilación, se determina como mejor opción, realizar una cimentación directa a una profundidad de 2,0 m.

## **2.5 Cálculo de las cargas actuantes.**

La naturaleza de las cargas actuantes y sus respectivos efectos sobre la estructura define los tipos de análisis que se requieren para el correcto chequeo de los casos de estudio. El algoritmo de diseño presentado determina la modelación y análisis para cargas de acción vertical (gravitatorias) y cargas laterales.

### **2.5.1 Cargas verticales.**

- Carga muerta

Se considera como carga muerta el peso de la totalidad de la estructura, el cual incluye: escaleras de acceso, columnas de apoyo, barandas, tablero, vigas y accesorios (Instituto de Desarrollo Urbano –IDU-, 2006). En la misma norma se le denomina como **G**. El software a utilizar para el análisis y diseño de la estructura *CSiBridge v15*, calcula automáticamente esta carga gracias a que entre los datos que le son introducidos se encuentran las propiedades de los materiales, incluido el peso específico, y las dimensiones de los diferentes elementos que componen la estructura del puente.

- Carga de uso

La NC 284: 2003(Edificaciones. Cargas de uso) no refiere un valor nominal mínimo de carga uniformemente distribuida para puentes peatonales, a falta de este dato se toma el valor de 4,0 kN/m<sup>2</sup> que corresponde a las cargas en vestíbulos, galerías y pasillos de circulación en hoteles, hospitales, policlínicos, sanatorios y edificios para la docencia, educación e investigación, oficinas y comercios, bibliotecas, museos y pabellones y edificios y locales de servicios, o sea zonas con altos niveles de circulación de personas. Esta carga se considerará actuando perpendicularmente sobre el tablero o pasarela del puente en el sentido de la fuerza gravitatoria.

### 2.5.2 Cargas laterales.

- Carga de viento

En la tabla 2.1 se muestran los coeficientes encontrados en la NC 285: 2003 para el caso de estudio, datos que se van a introducir posteriormente en el Software y se analiza para una velocidad del viento de 150mph que corresponde a un huracán categoría 5.

**Tabla 2.1 Coeficientes para el caso de estudio**

q10 (kN/m <sup>2</sup> )	Ct	Cs	Ch	Cr	Cra
<b>0.9</b>	1.00	1.00	0.48	1.46	0.77

Fuente: adaptaciones NC 285: 2003

- Carga sísmica:

Esta carga se introduce en el programa utilizando los valores del Espectro NC- 46: 2014 (figura 2.4) a través de los datos brindados en la tabla 2.2 en la que se establece la ubicación donde se diseña la estructura, la cual genera un reporte de aceleraciones horizontales y verticales producidas por un sismo eventual.

Tabla 2.2 Construcción de los espectros de aceleraciones de diseño

Construcción de los espectros de aceleraciones de diseño según NC 46:2014					
Tipo de Suelo	D	Distancia a las Zonas Sismogénicas (km)			
Nivel de Diseño	O	Tipo A	Tipo B	Tipo C	
		15	15	15	
Origen de los valores de peligro	Tomados de la NC				
Los datos de peligrosidad serán tomados de la NC, definir Provincia y Municipio:					
S0(g)	Ss(g)	S1(g)	TL(seg)		
0.181	0.349	0.128	9.0		
Provincia	Holguín				
Municipio	Holguín				
Código	1106				
Zona Sísmica	2				
S0(g)	Ss(g)	S1(g)	TL(seg)	T0(seg)	Ts(seg)
0.181	0.349	0.128	9.0	0.106	0.532
Kd	Fa	Fv	Na	Nv	
0.66	1.551	2.249	1.000	1.000	
SCS	0.541	SDS	0.357	SVD	0.071
SC1	0.288	SD1	0.190	Sv1	0.038

Fuente: NC 46:2017

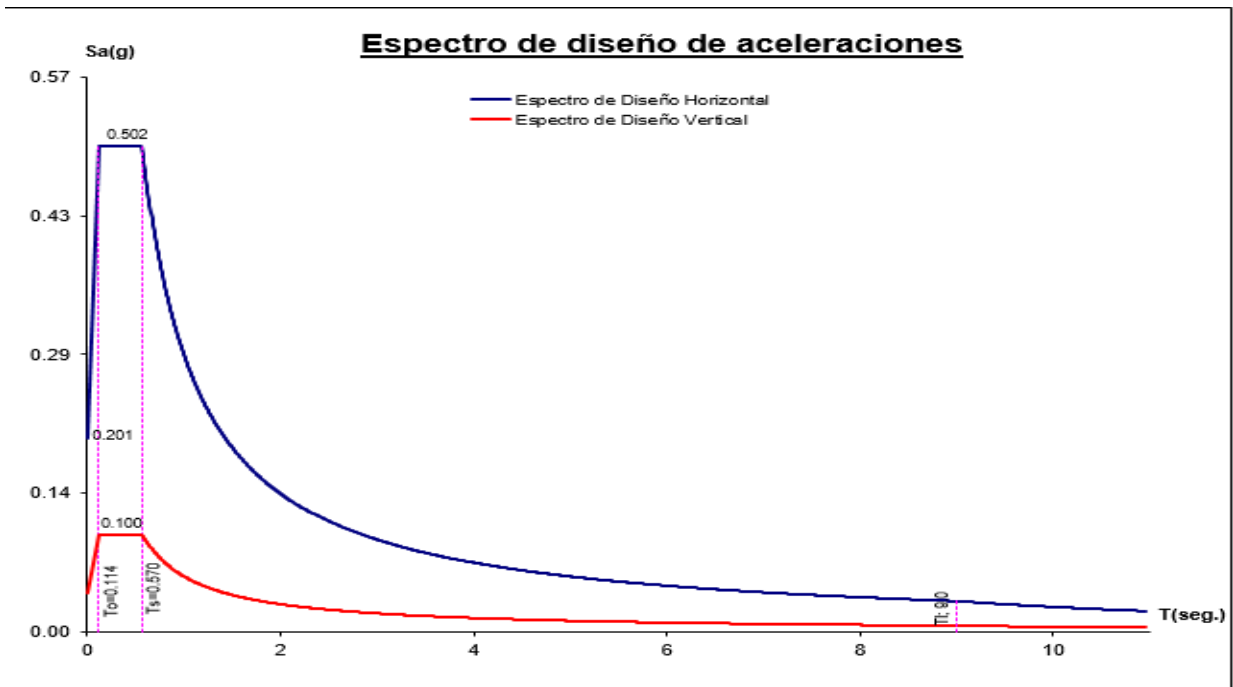


Figura 2.4 Espectro de diseño de aceleraciones. Fuente: NC 46:2017

### **2.5.3 Combinaciones de carga**

El puente se diseña en base a los estados límites, para cumplir con la normativa vigente y cuidar de la seguridad de los usuarios. Las cargas y fuerzas se combinan para tener en cuenta los máximos esfuerzos que se puedan producir en los diferentes elementos de la estructura, de acuerdo a los grupos definidos se declaran las combinaciones de carga siguientes.

Se estudia la norma americana ASCE-SEI, código que utiliza el *software* para el cálculo de la estructura, y se escogen las combinaciones de esta norma porque en el caso de las combinaciones que incluyen las cargas sísmicas son iguales a la que plantea la norma cubana NC46 :2017, según se verifica en el apartado 6.12. Por tanto, las combinaciones de carga a utilizar son las siguientes:

- 1) 1,4G
- 2) 1,2G + 1,6Q
- 3) 1,2G + 1W + 1Q
- 4) 1,2G + 1Ex + 1Ey + 1Q
- 5) 0,9G + 1,0W
- 6) 0,9G + 1,0Ex + 1Ey

Al tener en cuenta todos los aspectos antes planteados se da paso al análisis de las diferentes variantes.

## **2.6 Variantes de soluciones estructurales**

### **2.6.1 Descripción de las variantes.**

- Variante 1: Puente en arco de acero con pasarela intermedia

Se propone un arco de acero tri-articulado con una flecha de 7.5 m de altura y una pasarela intermedia de acero, de 5m de gálibo. En la parte colgante del puente se usan cables de acero, que unen al arco con el tablero y a las viguetas transversales, en los costados se utilizan columnas para soportar el tablero.



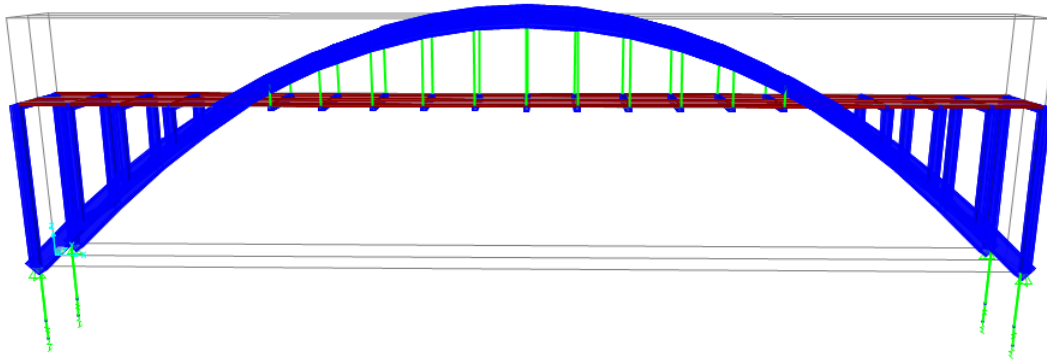


Figura 2.5 Variante 1. Fuente: elaboración propia (2022)

- Variante 2: Puente en arco de hormigón con pasarela intermedia

Se propone un arco de hormigón tri-articulado, con una flecha de 7.5 m de altura y una pasarela intermedia de hormigón de 5 m de gálibo. En la parte colgante del puente se usan cables de acero, que une al arco con el tablero y a las viguetas transversales, en los costados se utilizan columnas.

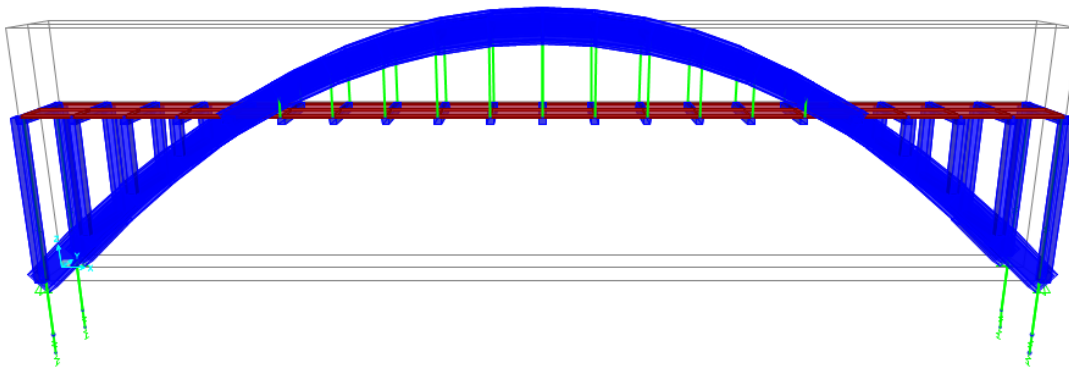


Figura 2.6 Variante 2. Fuente: elaboración propia (2022)

- Variante 3: Puente en arco de acero con pasarela superior

Se propone un arco de acero tri-articulado, con un gálibo de 5 m de altura y una pasarela superior de hormigón, se utilizan columnas que unen al arco con el tablero y las viguetas transversales.

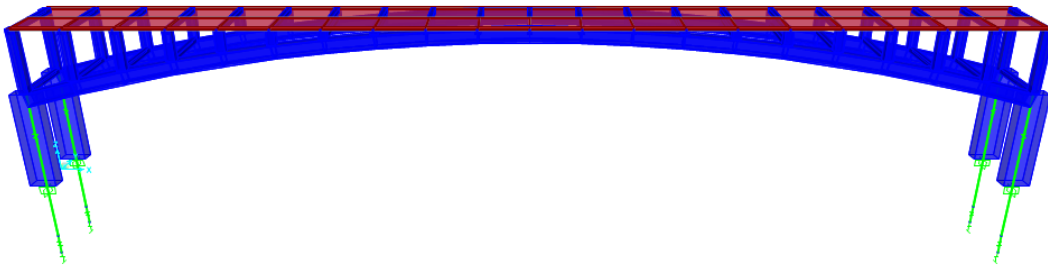


Figura 2.7 Variante 3. Fuente: elaboración propia (2022)

- Variante 4: Puente en arco de hormigón con pasarela superior

Se propone un arco de hormigón bi-articulado, con un gálibo de 5 m de altura y una pasarela superior de hormigón, se utilizan columnas que une al arco con el tablero y las viguetas transversales.

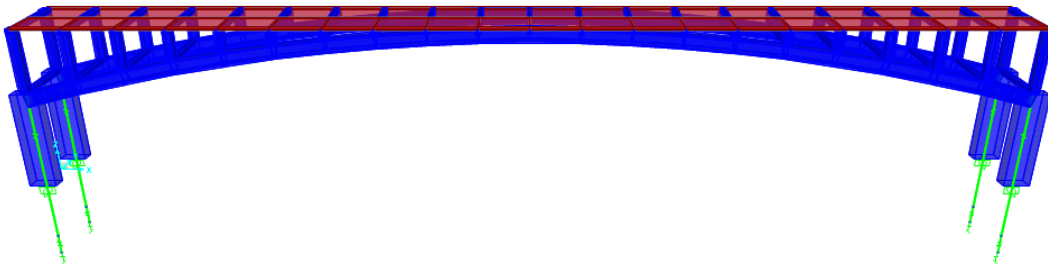


Figura 2.8 Variante 4. Fuente: elaboración propia (2022)

### 2.6.2 Entrada de datos al programa por Variante

A continuación, se muestra el procedimiento de la entrada de datos al software CSiBridge por cada variante de análisis. Donde se inicia con la definición de los materiales, así como las secciones de los elementos lo que da paso a la corrida del programa pues los refuerzos el programa lo predetermina.

## Materiales y propiedades

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: HGON 28Mpa ■

Material Type: Concrete

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25

Mass per Unit Volume: 2.4028

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 24855578

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 10356491

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 28000

Fig. 2.9 Propiedades del hormigón de 28MPa Fuente: Elaboración propia

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A500GrB42 ■

Material Type: Steel

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9729

Mass per Unit Volume: 7.849

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1.999E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76903069

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 289579.83

Minimum Tensile Stress, Fu: 399896

Effective Yield Stress, Fye: 318537.8

Effective Tensile Stress, Fue: 439885.6

Fig. 2.10 Propiedades del acero A500GrB42 Fuente: Elaboración propia

**Material Property Data**

General Data

Material Name and Display Color: A416Gr270

Material Type: Tendon

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9729

Mass per Unit Volume: 7.849

Units: KN, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1.965E+08

Poisson's Ratio, U: 0.

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 0.

Other Properties for Tendon Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 1689905.2

Minimum Tensile Stress, Fu: 1861584.6

Fig. 2.11 Propiedades del cable A416Gr270 Fuente: Elaboración propia

**Material Property Data**

General Data

Material Name and Display Color: ACERO G-40

Material Type: Rebar

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 76.9729

Mass per Unit Volume: 7.849

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 1.999E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 76903069

Other Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 300000.

Minimum Tensile Stress, Fu: 413685.5

Expected Yield Stress, Fye: 303369.35

Expected Tensile Stress, Fue: 455054.

Fig. 2.12 Propiedades del acero de refuerzo G-40. Fuente: Elaboración propia

## Definición de secciones por variantes

- Variante 1: Puente en arco de acero con pasarela intermedia

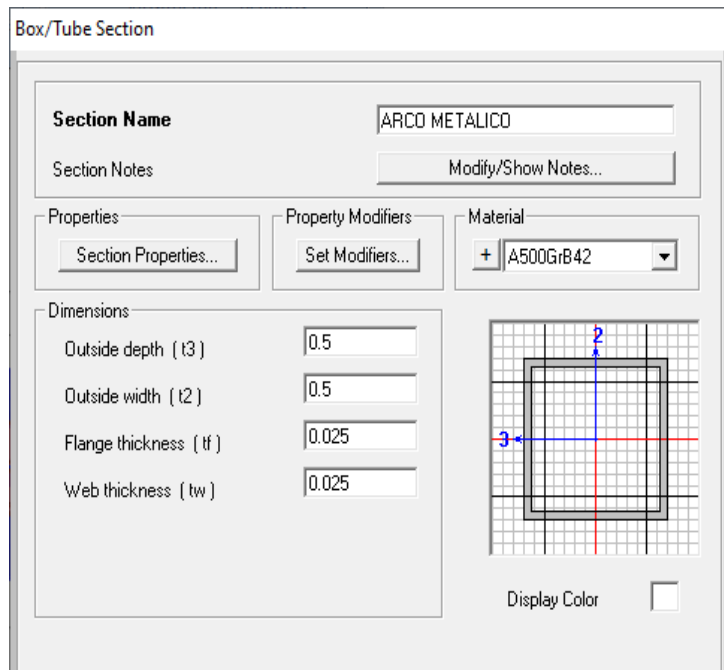


Fig. 2.13 Sección para el arco metálico. Fuente: elaboración propia

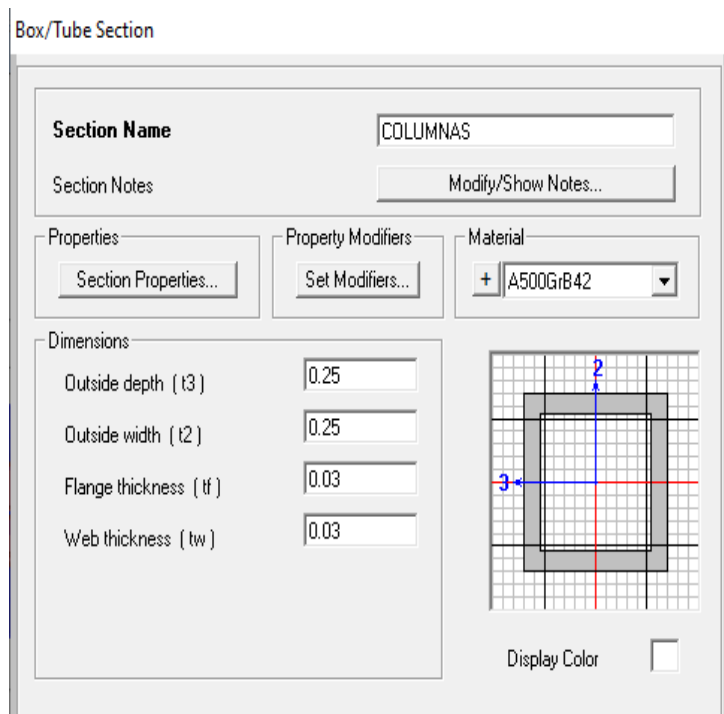


Fig. 2.14 Sección Columna Fuente: elaboración propia (2022)

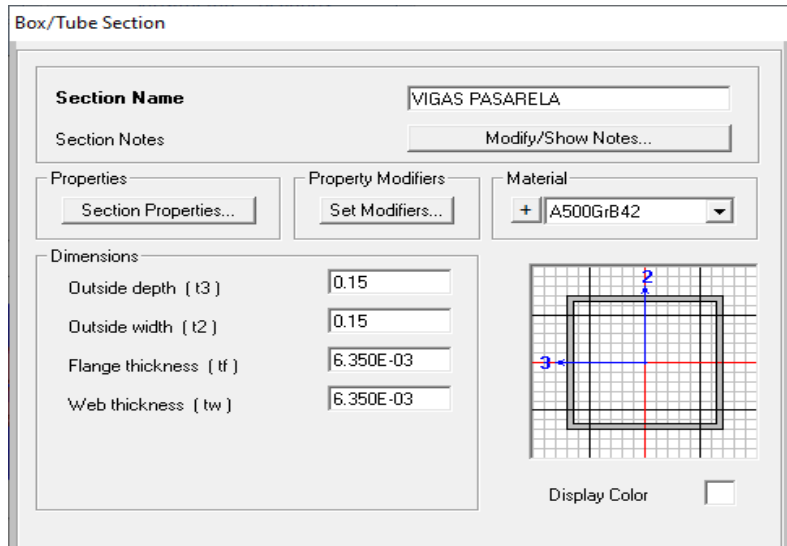


Fig. 2.15 Sección Viga de Pasarela Fuente: elaboración propia

- Variante 2: Puente en arco de hormigón con pasarela intermedia

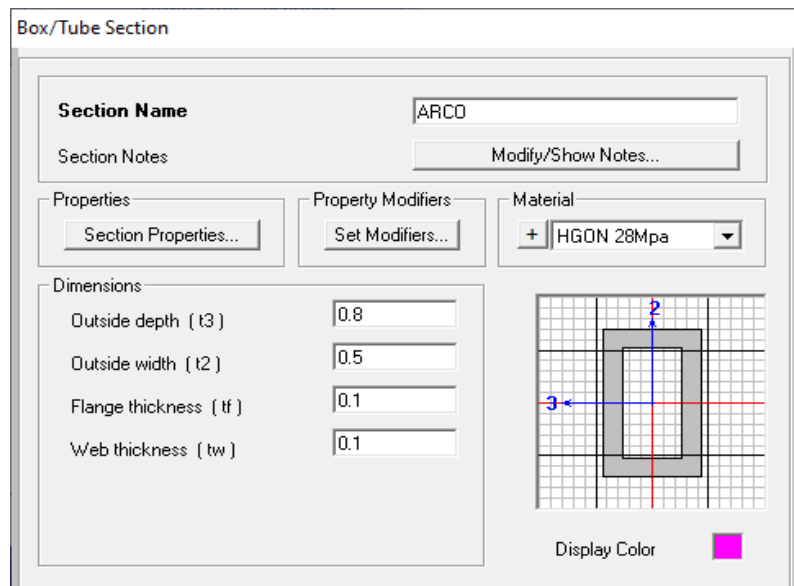


Fig. 2.16 Sección para el arco. Fuente: elaboración propia

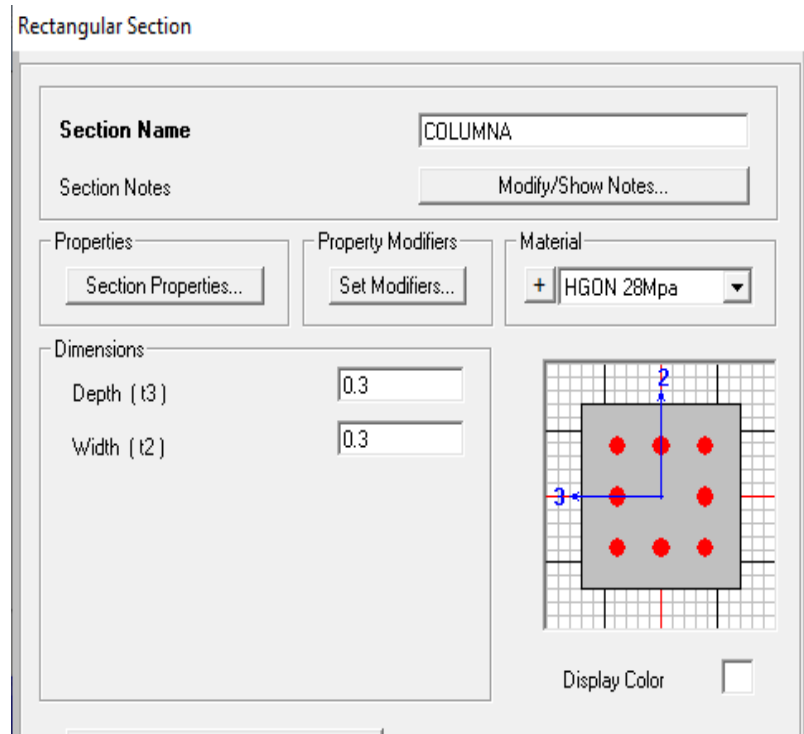


Fig. 2.17 Sección columna Fuente: elaboración propia (2022)

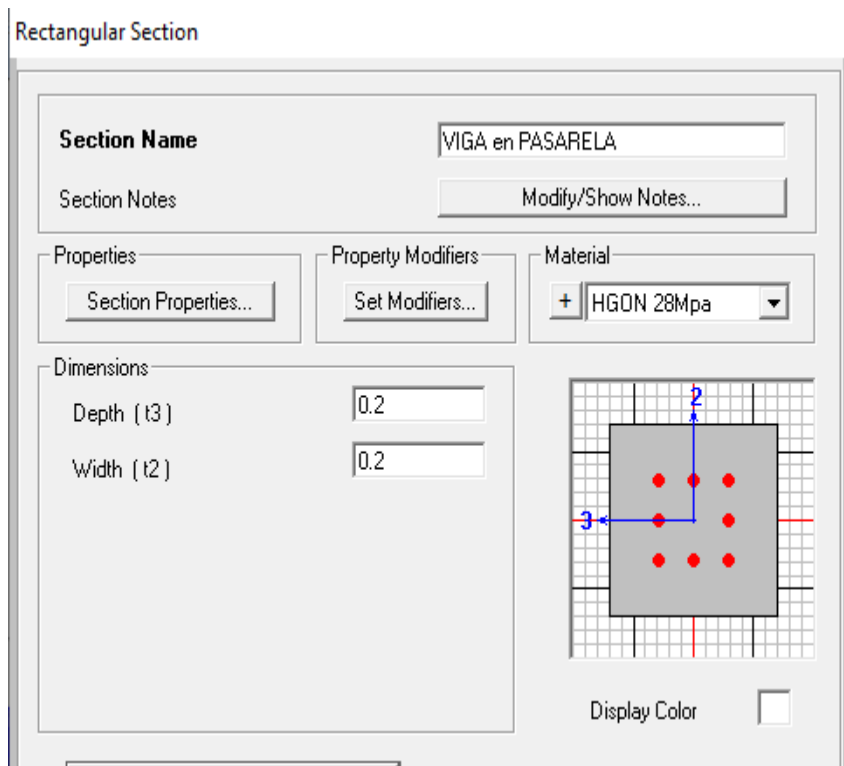


Fig. 2.18 Sección viga de pasarela. Fuente: elaboración propia (2022)

### Variante 3 Puente en arco de acero con pasarela superior

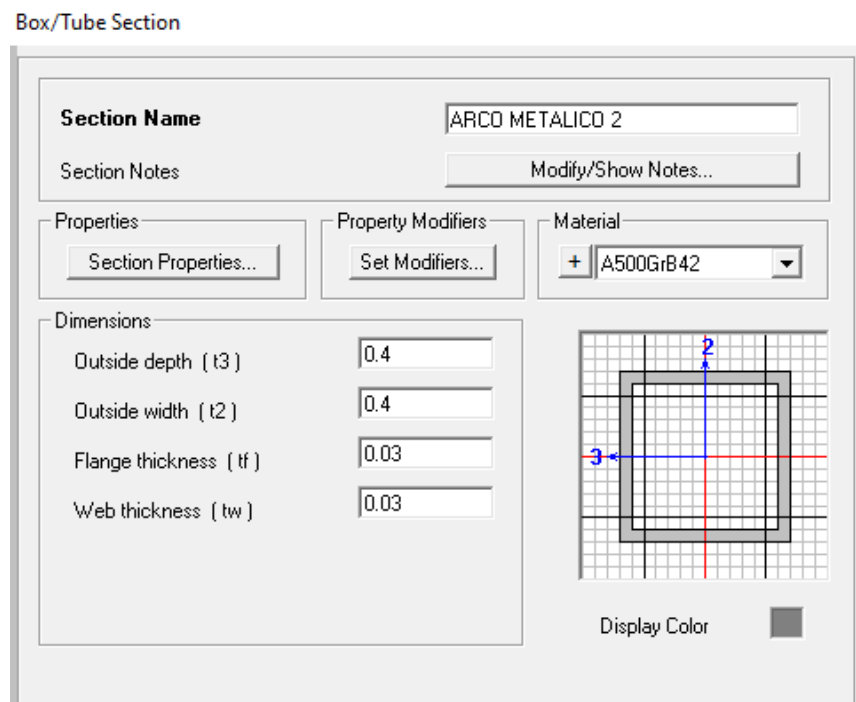


Fig. 2.19 Sección para el arco metálico. Fuente: elaboración propia

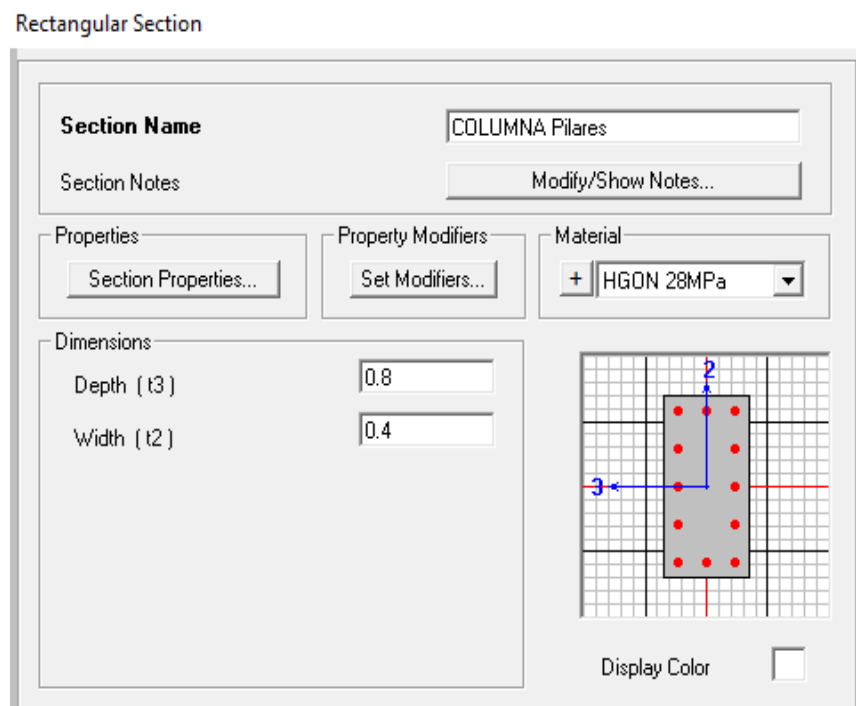


Fig. 2.20 Sección columna de pilares. Fuente: elaboración propia



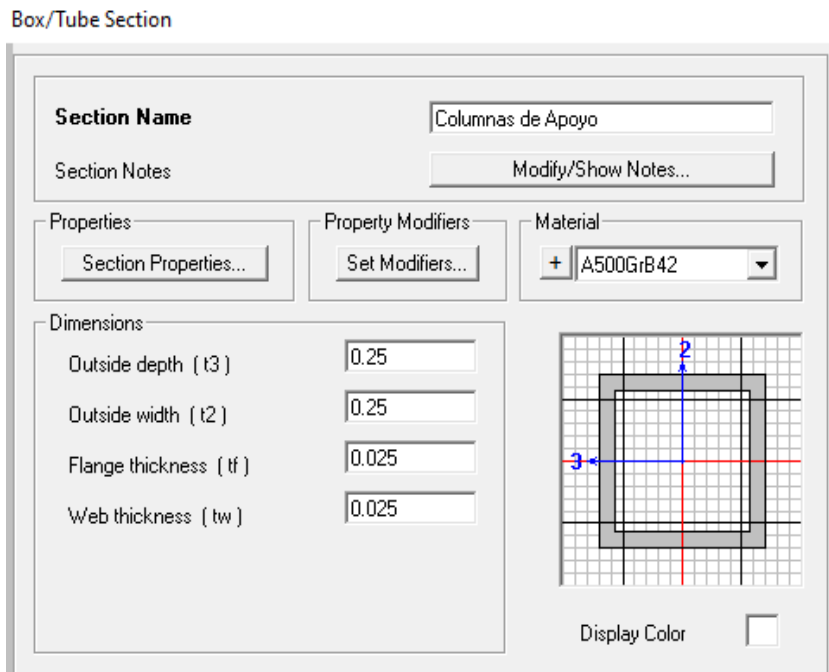


Fig. 2.21 Sección columna. Fuente: elaboración propia

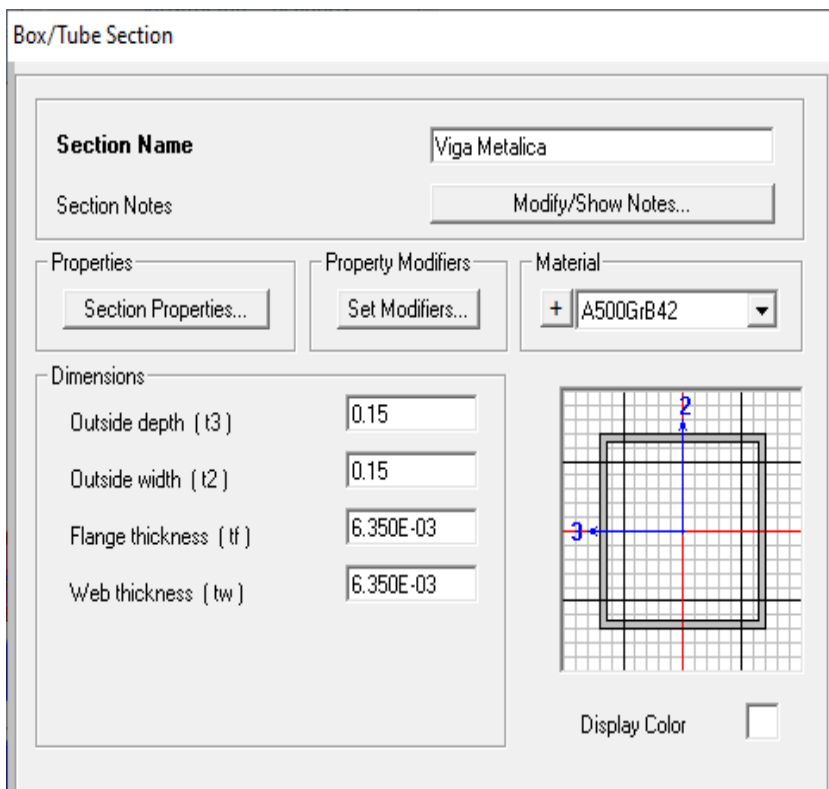


Fig. 2.22 Sección Viga Fuente: elaboración propia (2022)

## Variante 4 Puente en arco de hormigón con pasarela superior

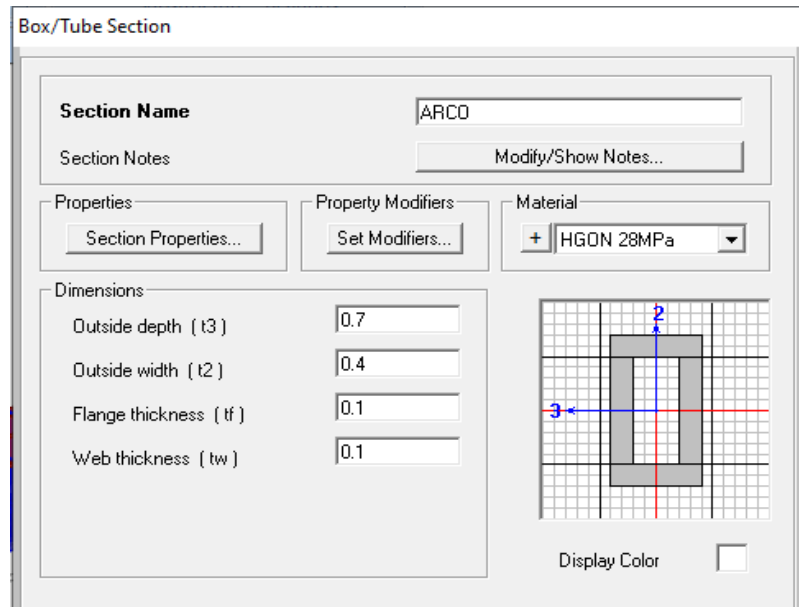


Fig. 2.23 Sección para el arco. Fuente: elaboración propia

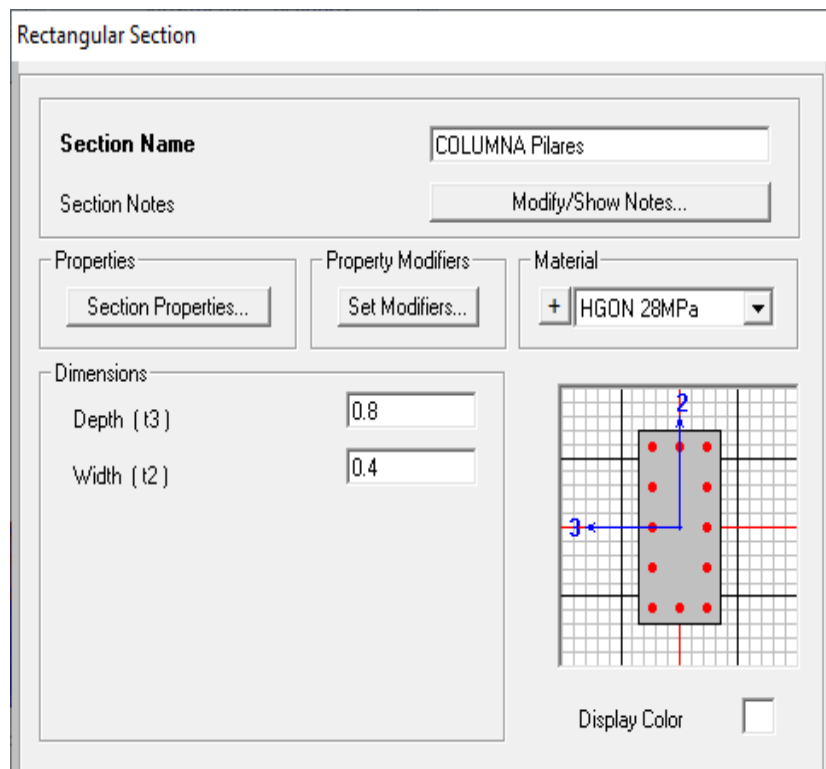


Fig. 2.24 Sección columna de pilares. Fuente: elaboración propia

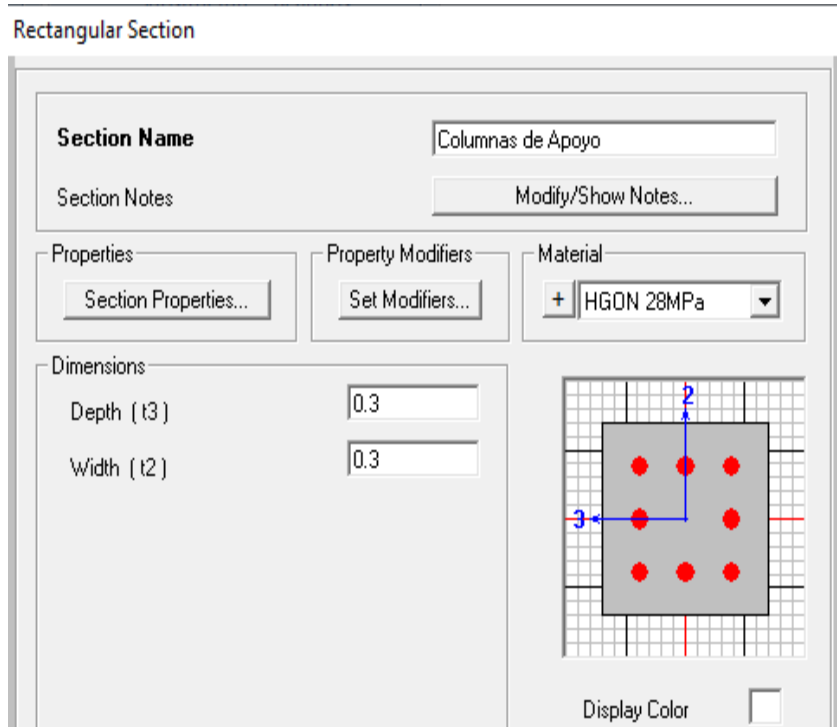


Fig. 2.25 Sección columna. Fuente: elaboración propia

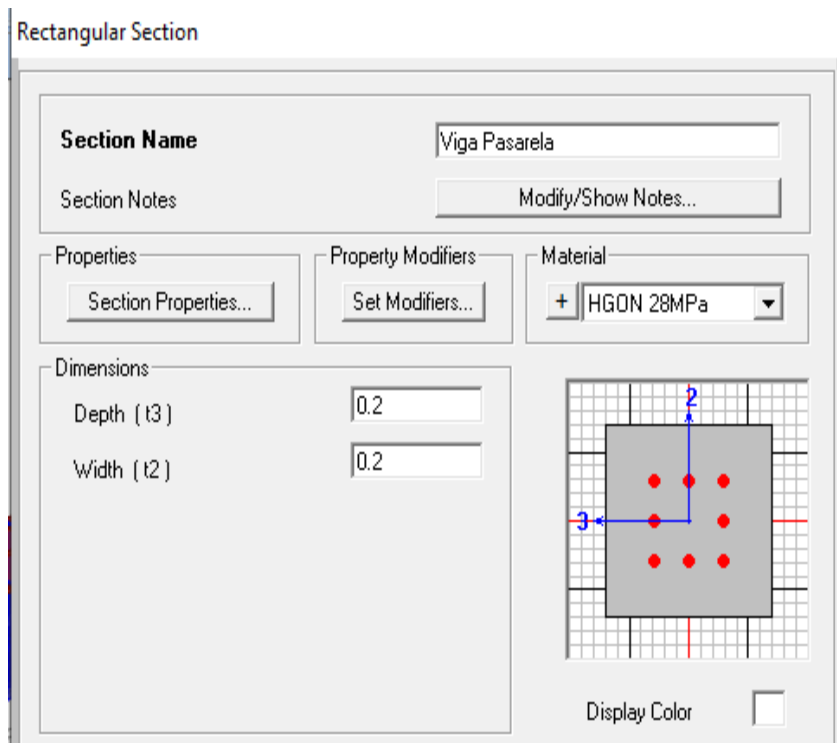


Fig. 2.26 Sección viga. Fuente: elaboración propia

### 2.6.3 Análisis de resultados

Variante 1. Puente en arco de acero con pasarela intermedia

- Chequeo por deformación vertical (flecha)

Se verifica para la combinación de servicio ( $1.2G + 1.6Q_u$ ) la más desfavorable en deformación, donde se obtiene una flecha máxima de 0.0013 m en el centro de la luz.

Fig. 2.27

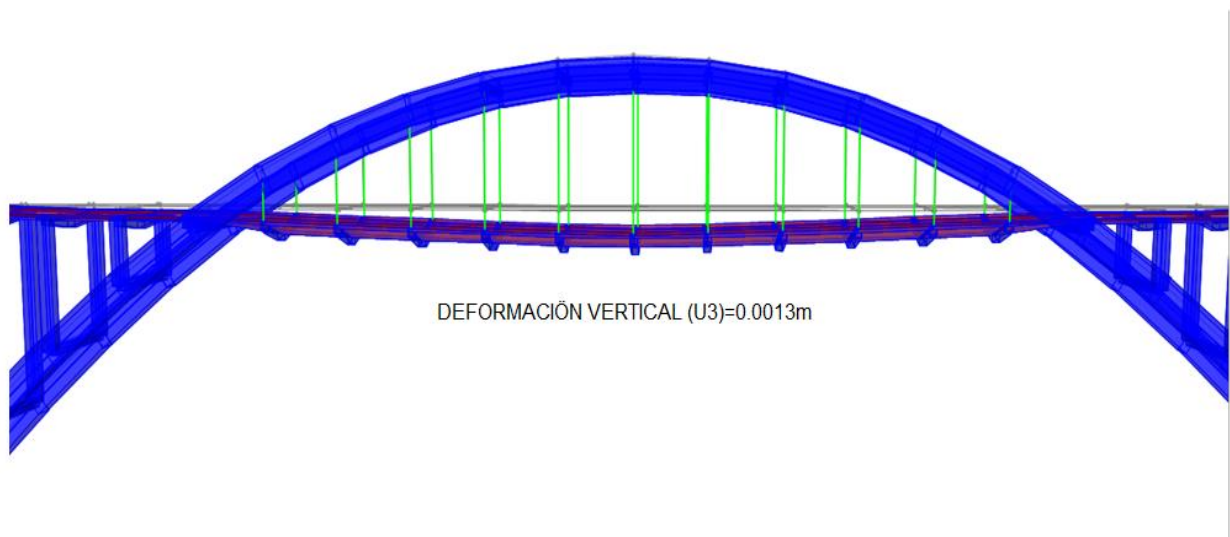


Figura 2.27 Diagrama de deformación de las barras. Fuente: elaboración propia

Se comprueba para las deformaciones máximas admisibles. Se especifica en la recomendación directa de la AASHTO para puentes  $L/800$  que para el puente de 30 m es 0.0375m, por lo tanto, se encuentra la deformación dentro de los valores admisibles, y cumple.

- Chequeo por pandeo horizontal

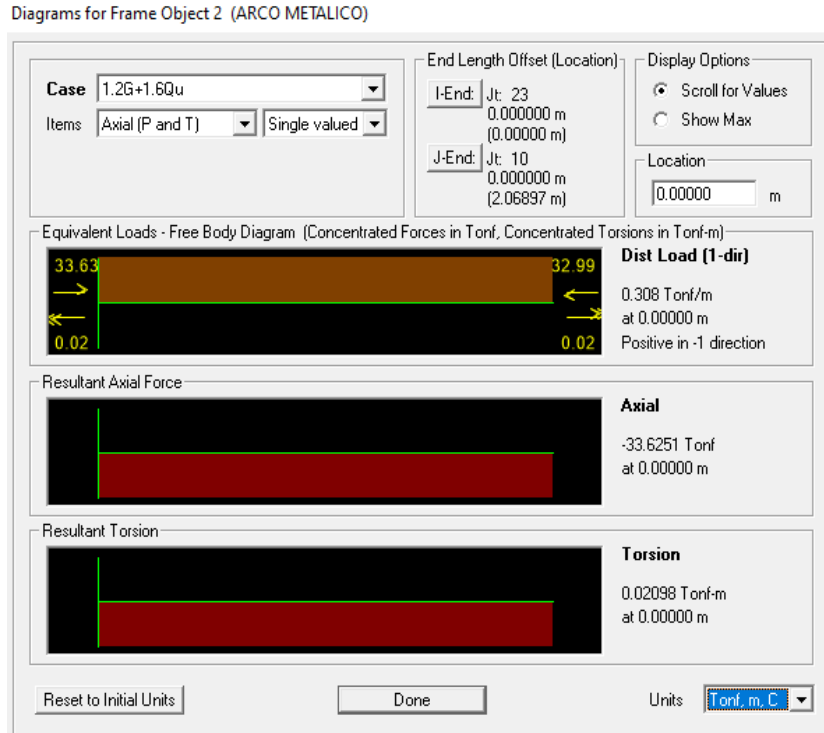


Figura 2.28 Frame del arco con mayor sollicitación de axial.

Fuente: elaboración propia

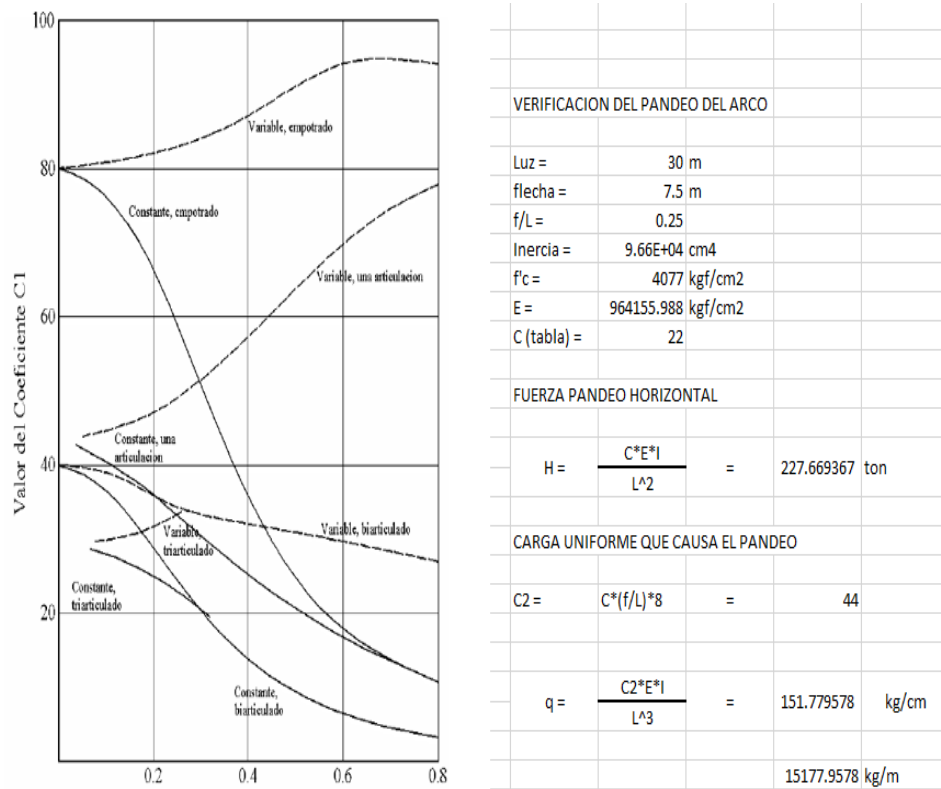


Figura 2.29 Verificación del pandeo del arco. Fuente: elaboración propia

El mayor valor de fuerza axial que se obtiene en la estructura es de 33.6251 ton (Fig. 2.28) y se compara con la fuerza de pandeo horizontal límite que se muestra en la (Fig. 2.29) que es  $H=227.51\text{ton}$  y se puede observar que el valor de corrida del programa es mucho menor que el límite y por lo tanto **cumple**.

#### Variante 2. Puente en arco de hormigón con pasarela intermedia

- Chequeo por deformación vertical (flecha)

Se verifica para la combinación de servicio ( $1.2G + 1.6Qu$ ) la más desfavorable en deformación con una flecha máxima de  $0.0018\text{m}$  en el centro de la luz. Fig. 2.30

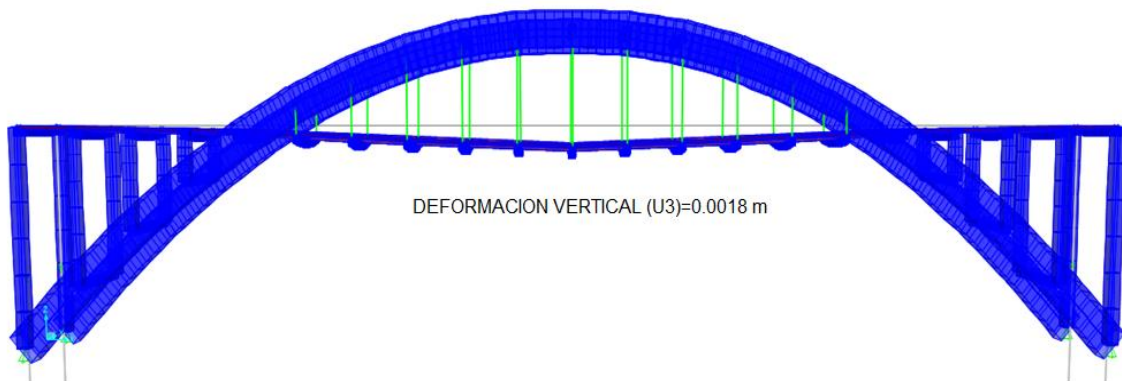


Figura 2.30 Diagrama de deformación de las barras. Fuente: elaboración propia

Se comprueba para las deformaciones máximas admisibles. Se especifica en la recomendación directa de la AASHTO para puentes  $L/800$  que para el puente de  $30\text{ m}$  es  $0.0375\text{ m}$ , por lo tanto, se encuentra la deformación dentro de los valores admisibles, por tanto, **cumple**.

- Chequeo por pandeo horizontal

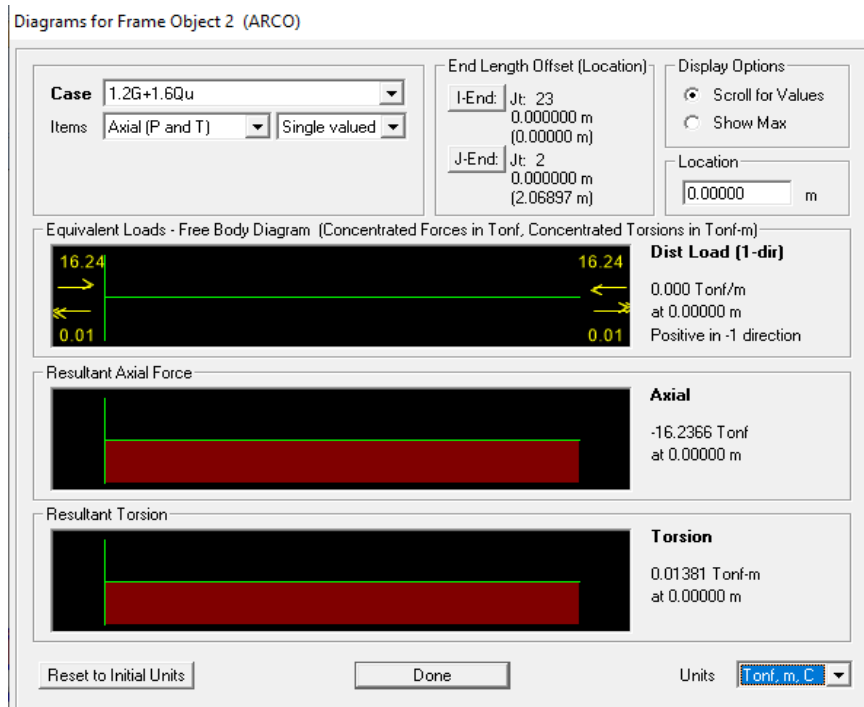
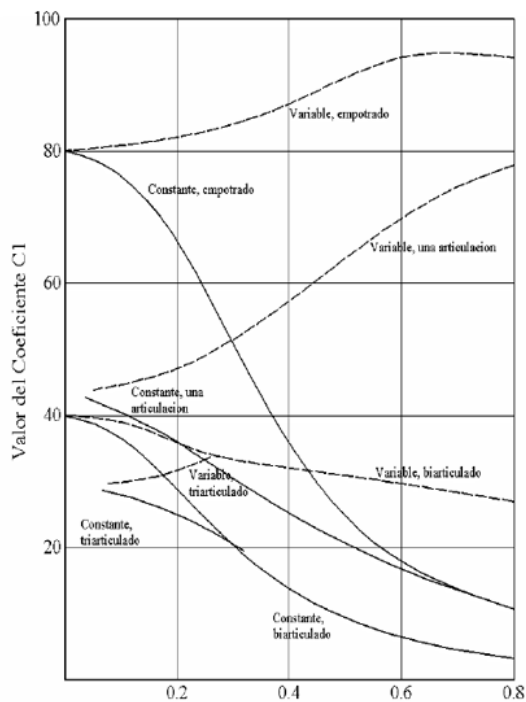


Figura 2.31 Frame del arco con mayor sollicitación de axial. Fuente: elaboración propia



VERIFICACION DEL PANDEO DEL ARCO			
Luz =	30 m		
flecha =	7.5 m		
f/L =	0.25		
Inercia =	9.90E+05 cm4		
f'c =	280 kgf/cm2		
E =	252671.328 kgf/cm2		
C (tabla) =	22		
FUERZA PANDEO HORIZONTAL			
H =	$\frac{C \cdot E \cdot I}{L^2}$	=	611.464614 ton
CARGA UNIFORME QUE CAUSA EL PANDEO			
C2 =	$C \cdot (f/L) \cdot 8$	=	44
q =	$\frac{C2 \cdot E \cdot I}{L^3}$	=	407.643076 kg/cm
			40764.3076 kg/m

Figura 2.32 Verificación del pandeo del arco. Fuente: elaboración propia

El mayor valor de fuerza axial que se obtiene en la estructura es de 16.2366 ton (Fig. 2.31) y se compara con la fuerza de pandeo horizontal límite que se muestra en la (Fig. 2.32) que es  $H=611.4646$  ton y se puede observar que el valor de corrida del programa es mucho menor que el límite y por lo tanto **cumple**.

### Variante 3. Puente en arco de acero con pasarela superior

- Chequeo por deformación vertical (flecha)

Se verifica para la combinación de servicio ( $1.2G + 1.6Qu$ ) la más desfavorable en deformación con una flecha máxima de 0.0537m en el centro de la luz. Fig. 2.33



Figura 2.33 Diagrama de deformación de las barras. Fuente: elaboración propia

Se comprueba para las deformaciones máximas admisibles. Se especifica en la recomendación directa de la AASHTO para puentes  $L/800$  que para el puente de 30 m es 0.0375 m, por lo tanto, no se encuentra la deformación dentro de los valores admisibles, por tanto, no cumple.

Ya que no cumple por el criterio de deformación no se realizará el análisis del criterio de pandeo

### Variante 4. Puente en arco de hormigón con pasarela superior

- Chequeo por deformación vertical (flecha)



Se verifica para la combinación de servicio ( $1.2G + 1.6Qu$ ) la más desfavorable en deformación con una flecha máxima de 0.1898m en el centro de la luz. Fig. 2.34

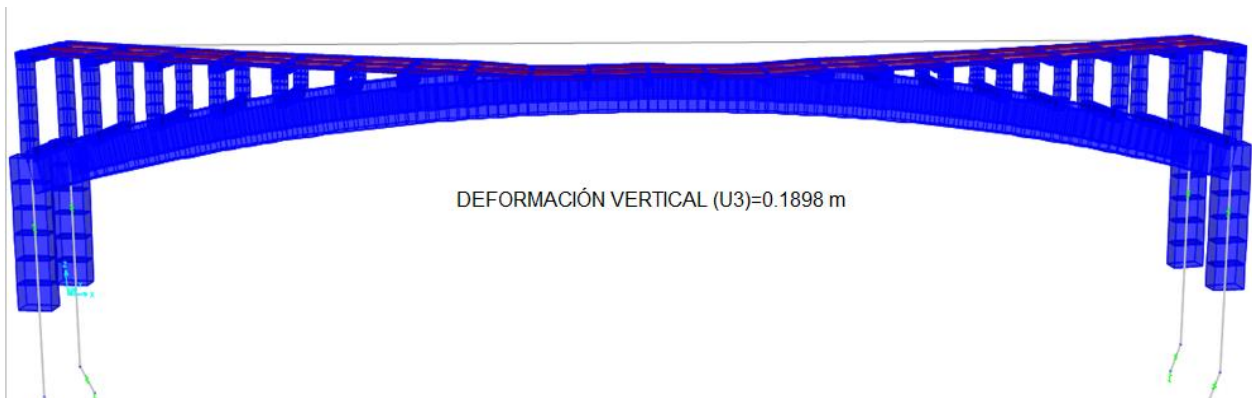


Figura 2.34 Diagrama de deformación de las barras. Fuente: elaboración propia

Se comprueba para las deformaciones máximas admisibles. Se especifica en la recomendación directa de la AASHTO para puentes L/800 que para el puente de 30 m es 0.0375 m, por lo tanto, no se encuentra la deformación dentro de los valores admisibles, por tanto, no cumple.

Ya que no cumple por el criterio de deformación no se realizará el análisis del criterio de pandeo.

## 2.7 Valoración del resultado de las variantes estudiadas.

Se estudian 4 variantes, cada una de las cuales se detallan a continuación:

Variante 1:

Puente en arco, con luz de 30m y flecha de 7.5m, con una pasarela intermedia que alcanza un gálibo de 5 m, para la cual se emplea como material principal el acero A500, las secciones son de perfil en forma de tubo ya que es la más se recomienda para aligerar la estructura. Cumple con los dos criterios de verificación, la deformación vertical y la fuerza de pandeo horizontal.

Variante 2:

Puente con características arquitectónicas similares a la de la variante 1, el material principal que se usa es el hormigón armado de 28 MPa, al igual que la variante anterior,

la sección de la viga en arco es en forma tubular para aligerar la estructura. Cumple con los criterios de verificación, la deformación vertical y la de fuerza de pandeo horizontal.

Variante 3:

Puente en arco con luz de 30m y pasarela superior, que alcanza un gálibo de 5m, se emplea como material principal el acero A500, las secciones son de perfil en forma de tubo ya que es la más se recomienda para aligerar la estructura; no cumple con el criterio de verificación de deformación vertical.

Variante 4:

Puente con características arquitectónicas similares a la de la variante 3, el material principal que se usa es el hormigón de 28 MPa al igual que la variante anterior la sección de la viga en arco es en forma tubular para aligerar la estructura; no cumple con el criterio de verificación de deformación vertical.

De tal manera por lo antes expuesto las variantes con posibilidad de aplicación son la 1 y la 2. Sin embargo, la 3 y la 4 al no cumplir con el chequeo de deformación vertical requieren un redimensionamiento de las secciones o un cambio en las condiciones de apoyo.

Además, se analizaron otras variantes, como la de estructuras de acero en I y de secciones rectangulares de hormigón, pero se rechazaron ante las dificultades de diseño de ambos y se ajusta a las recomendaciones internacionales que dictan que la mejor forma de construir puentes en arco es con secciones huecas sobre todo para aligerar los estados de carga que son los que pueden complicar el diseño.

### **Conclusiones del capítulo**

- Con el análisis de las variantes se constata que las variantes 1 y 2 son las adecuadas para la construcción del puente, por cumplir con todos los parámetros y chequeos pertinentes.
- El software empleado CSiBridge v.15 es una herramienta factible para el análisis y modelación de puentes en forma de arco de manera que facilita el proceso de diseño al hacerlo en menor tiempo.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. En la experiencia cubana se evidencia la inexistencia de documentación especializada sobre el tema objeto de estudio. A partir de los resultados de investigaciones de Vicet y Romero se demuestra la inseguridad vial que existe en la intersección, lo que permite el desarrollo del presente trabajo.
2. A partir de los diseños estructurales, realizados por Carballo y por Cables, que no arrojan los resultados esperados, se determina el diseño con una estructura en forma de arco, como la más indicada para la proyección y ejecución de la obra.
3. A partir del análisis de diferentes variantes con el empleo del software CSiBridge v.15 -programa profesional-, factible para la modelación de puentes en forma de arcos, se comprueba que las variantes: número 1 (conformada por un arco metálico de flecha de 7.5 m con pasarela intermedia) y la número 2 (conformada por un arco de hormigón de flecha de 7.5 m con pasarela intermedia), son las más factibles a utilizar, acorde a las condiciones materiales y económicas del país, aspectos que demuestran, la veracidad de la hipótesis planteada.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere al departamento de Construcciones de la Universidad de Holguín:

- Continuar la investigación para el diseño de las uniones, rampa, escalera y la cimentación.
- Analizar las variantes 3 y 4 con un redimensionamiento en sus secciones, así como cambiar sus condiciones de apoyo.
- Realizar investigaciones que reúnan los criterios para una norma específica para puentes peatonales que permita obtener datos más específicos para el diseño de esta estructura, para el desarrollo del país y la seguridad vial.
- Introducir los resultados en el proceso de enseñanza aprendizaje de la carrera de Ingeniería Civil, con el empleo de softwares profesionales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cables, A. (2020). Diseño estructural de puente peatonal de hormigón en la intersección de la Plaquita, Ciudad de Holguín. (Tesis de diploma).
- Claros, R., & Meruvia, P. E. (2004). Apoyo Didáctico en la Enseñanza y aprendizaje de la Asignatura de Puentes. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología. Cochabamba, Bolivia Recuperado de: <https://www.fcyt.umss.edu.bo/materias/>. Consultado en internet en enero 2022.
- Colombia. IDU. (2006). Criterios y parámetros de diseño para los puentes peatonales. Recuperado de: [https://www.academia.edu/6845369/CRITERIOS\\_Y\\_PAR%C3%81METROS\\_DE\\_DISE%C3%91O\\_PARA\\_LOS\\_PUENTES\\_PEATONALES/](https://www.academia.edu/6845369/CRITERIOS_Y_PAR%C3%81METROS_DE_DISE%C3%91O_PARA_LOS_PUENTES_PEATONALES/) Consultado en internet en febrero 2022.
- Carballo, P. (2020). Diseño estructural de puente peatonal de estructuras metálicas para la intersección de la Plaquita, ciudad de Holguín. (Tesis de diploma).
- García, A. J., & Suárez, L. M. (2002). Estudio del uso de los puentes peatonales avenida del ferrocarril, avenida 30 de agosto y avenida las américas Municipio de Pereira (Risaralda). Universidad Nacional de Colombia. Pereira, Colombia. Recuperado de <https://www.bdigital.unal.edu.co/1971/1/adrianajimenagarciaidarraga.2002.pdf>.
- ICE Manual Bridge Engineering Second Edition (2008) Coeficientes de pandeo en el plano del arco parabólico (O'Connor, 1971)
- Kelinton, H. (2010) Manual práctico para el pre-dimensionamiento de puentes en acero y concreto, para una luz menor a 15 metros. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería
- Manual Steel construction. Load and Resistance Factor Design. 2016 ISBU 156424-051-7. American Institute of Steel Construction, INC. Tabla de perfiles
- Manterola J. (2017) *Historia de los Puentes*. Editorial: CICCOP, Madrid, España Tomado de <https://www.arquitecturaviva.com>

Martín. (2018). Propuesta de medidas para mejorar la movilidad del tránsito en la Ave. Los Libertadores en el tramo comprendido entre Ave. XX Aniversario y calle Aricochea. (Tesis de diploma). Universidad de Holguín, facultad de Ingeniería, Cuba.

Oficina Nacional de Normalización. NC 283 (2003). Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño

Oficina Nacional de Normalización. NC 284. (2003). Edificaciones. Cargas de uso

Oficina Nacional de Normalización. NC 285. (2003). Carga de viento. Método de cálculo.

Oficina Nacional de Normalización. NC 291-1. (2010). Accesibilidad y utilización del entorno construido por las personas. Parte 1 Elementos generales.

Oficina Nacional de Normalización. NC 450. (2006). Edificaciones, factores de carga o ponderación, combinaciones.

Oficina Nacional de Normalización. NC 46. (2017). Construcciones sismo resistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción.

Oficina Nacional de Normalización. NC 391-2: 2013: Accesibilidad y utilización del entorno construido por las personas. Parte 2 Urbanismo

[Nghah](https://es.scribd.com/document/320347100/Footbridges-Construction-Design-History), A. (2016). Footbridges Construction- Design- History. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/320347100/Footbridges-Construction-Design-History/>. Consultado en internet en noviembre 2021.

Olivas, A. (2001). Propuesta de una metodología para justificar pasos peatonales a desnivel utilizando la distribución probabilística de Poisson. (Tesis de maestría). Universidad autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Civil. Colombia. Recuperado de: <https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/1965/>. Consultado en internet en enero 2022.

Peralta, F.J. (2018). Diseño estructural de puentes peatonales sobre la autopista Pimentel Chiclayo. (Tesis de diploma). Universidad Señor de Sipán. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Perú. Recuperada de: <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4570/Peralta%20Peralta.pdf?sequence=1&isAllowed=y/>. Consultado en internet en diciembre 2021.

- Romero, M. (2019). Propuestas de puentes peatonales como medida para la seguridad vial en la intersección de La Plaquita. (Tesis de diploma). Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Cuba.
- Vicet, R. (2018). Propuesta de medidas para la seguridad vial en la intersección de La Plaquita teniendo en cuenta el factor humano. (Tesis de diploma). Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Cuba.

## **ANEXOS**

### **Anexo 1 Estudio de suelo**

#### **Geología**

La geología del lugar a través del trazado del tramo investigado está representada por las rocas del Complejo Ofiolítico, predominando la serpentinizada. Estas rocas estuvieron expuestas a diferentes grados de tectonismo, lo cual se pone de manifiesto por el intenso agrietamiento que presentan, las cuales tienen diferentes direcciones formando bloques y generalmente están rellenas por minerales del grupo de serpentina. Estas rocas cuando están meteorizadas son de color gris amarillento a amarillo verdoso y gris azulado a gris oscuro cuando la roca no ha sufrido los efectos de la meteorización.

#### **Trabajos de campo y laboratorio.**

Los trabajos de campo comenzaron con el replanteo de los puntos donde se ejecutan las calas y las pruebas de CBR "in situ" (ver Anexo No.1)

Las perforaciones de las calas donde se tomaron las muestras para realizar los ensayos de laboratorio se ejecutaron con una maquina Stratadill de fabricación inglesa, la cual permite llevar a cabo sondeos a percusión y a rotación en dependencia del tipo de terreno.

Los CBR se realizaron con el equipo de campo, tomando como reacción un campo pipa cargado de agua, estos se ejecutaron a profundidades distintas, siempre en el terreno natural.

Los ensayos de laboratorio se ejecutaron cumpliendo las exigencias de las siguientes normas vigentes en la ENIA.

Ensayo de compactación Proctor	D:1557-91 E 98
Granulometría	D:422-63 R/1996
Peso Especifico	D:854-92 E1
Limite Casagrande	D:4318-98
CBR	D:1883-94
CBR "in situ"	NC157:2002

#### **Condiciones Geotécnicas.**



Según las calas que se ejecutaron, la faja del emplazamiento de la vía se encuentra sobre las rocas del Complejo Ofiolítico, predominando la Peridotita Serpentinizada en diferentes estados de alineación, hasta la profundidad perforada (3m).

En el Anexo No.1 (Plano con la ubicación de los trabaos) se ofrecen los puntos donde se realizaron las perforaciones y la secuencia de los materiales encontrados, los cuales para su identificación han sido numerosas. A continuación, se hace referencia a estos:

- Ha – Hormigón Asfáltico: se encontró en 4 puntos (Cala 1,2,3 y 4) en los bolsones de paradas de ómnibus y carriles de desaceleración.
- Material de Relleno: se cortó en las calas No. 3 y No. 4, este es un suelo heterogéneo y su extensión es limitada a las proximidades en los puentes en las que fueron encontrados.
- Rajón de caliza: se localiza en el carril de desaceleración vía a los talleres Osvaldo Sánchez, con un espesor de 0.25 m, los fragmentos tienen altas resistencia y tenacidad.

Materiales o elementos naturales del emplazamiento:

Capa vegetal: esta se encuentra limitada en parches y zonas fuera del actual paseo de la vía.

Capa No. 1 Peridotita Serpentinizada intensamente alterada hasta el estado de un suelo gravoso con arena. Por la NC 63:2000 clasifica como un A2.

Las propiedades estudiadas en el laboratorio se ofrecen a continuación

Granulometría:

Tamices	3/4''	3/8''	No.4	No.10	No.20	No.40	No.60	No.200
Diámetro	19.0	9.5	4.75	2.0	0.81	0.42	0.25	0.074
% que pasa	97	89	85	79	60	45	34	21

Límite Líquido	$W_L(\%)$	31
Límite Plástico	$W_P(\%)$	22
Índice de Plasticidad	$I_P(\%)$	9
Peso Específico de los Sólidos	$G_s(kN/m^3)$	27.2

El índice CBR estudiado "in situ" en 3 puntos (ver Anexo No. 1), resultó:

- Cala No. 1 – CBR= 54%
- Cala No. 2 – CBR= 95%
- Cala No. 5 – CBR= 97%

Capa No. 2: Peridotita serpentizada alterada intensamente por agentes de la meteorización, se encuentra agrietada con partes resistentes y zonas de baja tenacidad, se recuperó en las perforaciones en forma fragmentada con manchas y óxido de hierro, mezcladas con partículas arenosas de color beige a gris beige; en este estado la resistencia a compresión axial es menor de 5 MPa.

Capa No. 3: Peridotita serpentizada en un estado mas sano que el anterior, su colocación es gris verdosa a gris azulosa; en el proceso de recuperación pudo recuperarse en forma de cilindros.

La evolución de los testigos permitió obtener los siguientes resultados:

Humedad	W (%)	7
Peso Específico Húmedo	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	22.60
Peso Específico Seco	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.12
Resistencia a Compresión Axial	$q_{MAX}$ (MPa)	20
	$q_{MIN}$ (MPa)	8

En general, esta roca por sus características presenta una variación significativa en lo referente a la resistencia a compresión debido a su estado de fisuración.

Cala 1, profundidad total 3.00 m.

Profundidad	Descripción
0.00-0.05	Hormigón Asfáltico
0.05-0.25	Rajón de caliza acompañado por material areno limoso calcáreo de color blanco crema recuperado de forma suelta. Las gravas tienen diferentes diámetros (desde muy pequeñas 0.5 cm hasta 0.8 y 10 cm), con forma angular, fundamentalmente alargadas.
0.25-0.50	Material gravo arenoso de color gris azuloso, de origen serpentinitico, recuperado de forma suelta. Las gravas alcanzan hasta 5 cm de diámetro.

0.50-1.00	Fragmentos de peridotita Serpentinizada intensamente meteorizadas, de baja tenacidad, oxidada, acompañadas por material areno limoso de color beige a gris beige.
1.00-3.00	Peridotita serpentizada de media tenacidad de color gris verdoso a gris azulado, recuperado en forma de fragmentos, acompañados por material gravo arenoso (roca triturada por la perforación).

Cala 2, profundidad total 3.00 m.

Profundidad	Descripción
0.00-0.05	Asfalto
0.05-0.20	Capa vegetal de color prado oscuro
0.20-1.00	Serpentinita de color gris azulado, recuperada en fragmentos, acompañado por material gravo arenoso polvoso, producto de la trituración de la roca durante la perforación.
1.00-3.00	Peridotita serpentizada de color gris verdoso muy agrietada, tectonizada, las grietas están orientadas en diferentes direcciones, tienen hasta 3 mm de espesor y están selladas por minerales de serpentinita. Se recupera en cilindro y pedazos de cilindro.

Cala 3, profundidad total 3.00 m.

Profundidad	Descripción
0.00-0.10	Hormigón Asfáltico
0.10-0.50	Relleno formado por material arenoso limoso de color gris oscuro con gravas subredondeadas de hasta 2 cm de diámetro, se recupera en forma suelta.
0.50-0.70	Aparece material gravo arenoso de color pardo rojizo, las gravas alcanzan hasta un cm de diámetro. Se recupera en forma suelta.
0.70-0.85	Arcilla limosa pardo rojizo oscuro, de baja consistencia. Se recuperó en forma de cilindros.

0.85-1.85	Fragmentos de peridotita serpentizada, oxidados, de color gris amarillento. De media tenacidad, acompañados por material polvoso arenoso deleznable.
1.85-3.00	Serpentinita de color gris azulado de media tenacidad, recuperada en fragmentos, acompañada por material arenoso, polvoso, producto de la trituración de la roca durante la perforación.

#### Consideraciones Finales:

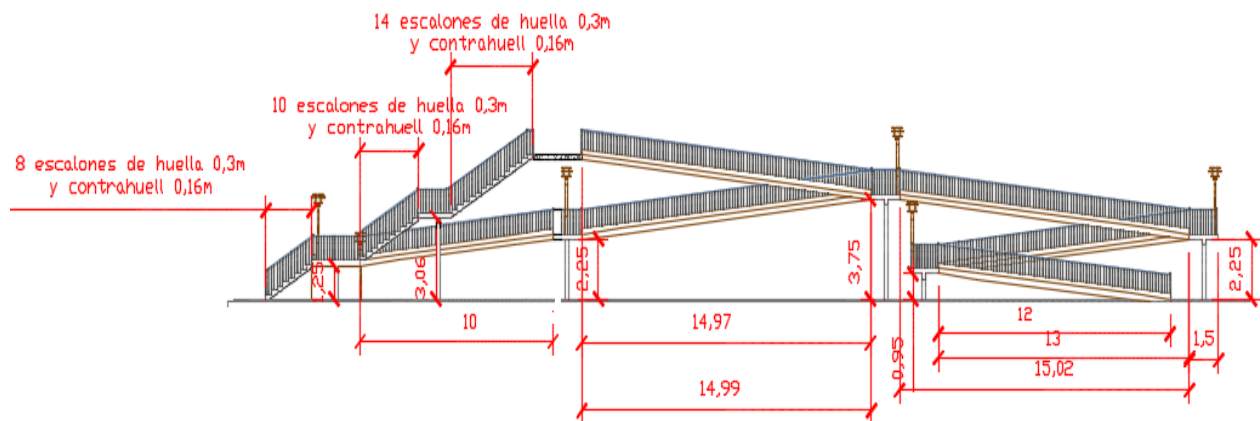
1. La faja de emplazamiento de la carretera ofrece desde el punto de vista geotécnico condiciones favorables, pues en toda la longitud del tramo La Plaquita- Seis Columnas, el terreno de fundación pertenece a una misma litología con buenas características.
2. De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados a los materiales de los préstamos, el lugar nombrado "El Frayle" reúne buena granulometría, se comporta bien a la compactación y adquiere aceptable índice de CBR y es la que está más próxima a la obra. En condiciones de saturación reduce considerablemente su resistencia y la penetración y posee el mayor desgaste.

De emplearse este suelo deben tomarse medidas eficientes de drenaje y control estricto en su compactación.

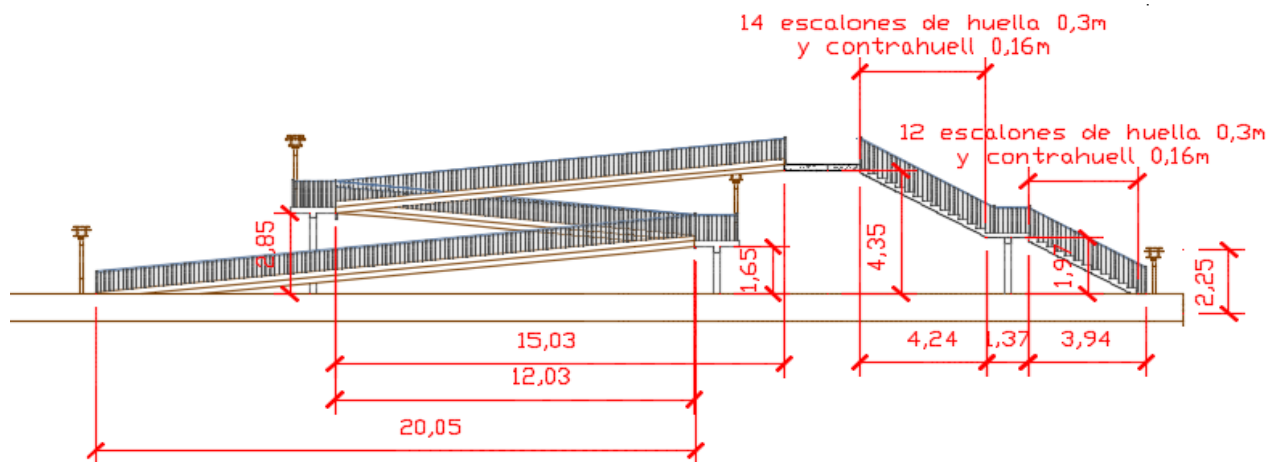
3. Las Canteras "El Yayal" y "Habana" tienen características parecidas, no obstante "El Yayal" muestran condiciones superiores pero se encuentra algo más distante de la obra.
4. Cualquiera que sea el préstamo que se emplee resulta necesario realizar un control sistemático que garantice los préstamos de diseño en obra.

## Anexo 2 Caracterización geométrica de los accesos a la pasarela.

Combinación rampa escalera con anchos de 2,50 m, las rampas con pendientes del 10% y las escaleras con huella y contrahuella de 0,30 m y 0,16 m respectivamente. También cuentan con barandas de 0,90 m de alto, piso antideslizante e iluminación. Están diseñados para que se pueda acceder a ellos casi desde cualquier dirección en la que el peatón se aproxime a la intersección. Los descansos tienen un ancho de 1.50 m y se respeta el criterio de que los mismos deben estar como máximo a 15 m en las rampas y cada 18 huellas en las escaleras. Estos accesos no representan obstáculo al paso, porque las aceras no sufrieron modificaciones, pero donde es inevitable que los peatones circulen, el gálibo bajo ellos es de 2,20 m.



**Elevación del acceso frente al policlínico. Fuente: Romero (2019).**



**Elevación del acceso frente a la panadería y la tienda. Fuente: Romero (2019).**

Las diferencias entre una propuesta y otra radican en el tipo de material, la forma constructiva y los elementos de la pasarela. Estas deben ser definidas por los organismos

decisiones (durante la etapa de concepción) a partir de lo cual se darían las características específicas de las variantes que se presentan a continuación: