



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ALTERNATIVA DE PUENTE SOBRE EL RÍO JUBONES CON TABLERO  
TIPO LOSA SOBRE VIGAS METÁLICAS EN EL TRAMO MACHALA -EL  
GUABO, PARROQUIA LA IBERIA**

**GRIJALVA ORELLANA JOSE CARLOS  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ALTERNATIVA DE PUENTE SOBRE EL RÍO JUBONES CON  
TABLERO TIPO LOSA SOBRE VIGAS METÁLICAS EN EL  
TRAMO MACHALA -EL GUABO, PARROQUIA LA IBERIA**

**GRIJALVA ORELLANA JOSE CARLOS  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2023**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTOS TÉCNICOS**

**ALTERNATIVA DE PUENTE SOBRE EL RÍO JUBONES CON  
TABLERO TIPO LOSA SOBRE VIGAS METÁLICAS EN EL  
TRAMO MACHALA -EL GUABO, PARROQUIA LA IBERIA**

**GRIJALVA ORELLANA JOSE CARLOS  
INGENIERO CIVIL**

**ORDOÑEZ FERNANDEZ JOSE LUIS**

**MACHALA  
2023**

# J. GRIJALVA

*por* Jose GRIJALVA

---

**Fecha de entrega:** 12-oct-2023 10:22a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2193592054

**Nombre del archivo:** Trabajo\_de\_Titulaci\_n\_-\_Grijalva\_Jos.pdf (2.13M)

**Total de palabras:** 19440

**Total de caracteres:** 104788

# J. GRIJALVA

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

< 1%

★ [bibliotecavirtualoducal.uc.cl](http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl)

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

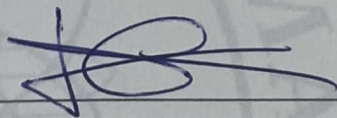
El que suscribe, GRIJALVA ORELLANA JOSE CARLOS, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado ALTERNATIVA DE PUENTE SOBRE EL RÍO JUBONES CON TABLERO TIPO LOSA SOBRE VIGAS METÁLICAS EN EL TRAMO MACHALA -EL GUABO, PARROQUIA LA IBERIA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



GRIJALVA ORELLANA JOSE CARLOS

0750339053

**Dedicatoria.**

El presente trabajo de investigación está dedicado al pilar más fundamental en mi vida, mis padres Carlos y Cecilia, y mis hermanos Israel y Samuel. A su vez dedicarlo también a aquellos familiares que siempre han estado cerca de mi apoyándome y brindándome sus mejores deseos para que cumpla con mis metas.

Además, va dedicado a todos mis amigos que de alguna u otra manera también han estado dando su apoyo durante todo el proceso de esta carrera.

**José Carlos Grijalva Orellana.**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, quienes han sido durante toda mi vida la guía que he necesitado para seguir adelante, brindándome su apoyo de manera incondicional para lograr cumplir con todos mis objetivos tanto personales como académicos. También, agradecer a mis hermanos pequeños que siempre han estado alentándome para seguir durante todo el proceso y quienes son mi inspiración.

Agradecer también a mis amigos Julio, Kenny, Sebastián y Stefanny que han estado conmigo durante todo el proceso; a mis compañeros de carrera en general y más específicamente a Josue Tenesaca, Anthony Zapata y Derian Miranda los cuales han sido un apoyo enorme total a lo largo de este proceso.

Por último, le agradezco profundamente a mi tutor Jose Luis Ordoñez que ha mostrado dedicación y paciencia durante el desarrollo de ese trabajo, ayudándome de esta manera a llegar a este momento tan anhelado.

**José Carlos Grijalva Orellana.**



## **Resumen**

En el presente trabajo de investigación se realizará un modelo matemático para plantear una alternativa al puente ya existente en la parroquia La Iberia conocido como Puente General Víctor Manuel Serrano. Para llevar a cabo este proceso se han empleado diferentes tipos de investigación, iniciando con la medición y observación de las características de la estructura actual, seguido de un análisis exhaustivo de información acerca del diseño de puentes con el que se empieza a concretar características de los elementos que se presentan en el modelo. Finalmente, se ha llevado a cabo un análisis de la estructura propuesta para comprender el comportamiento que este tiene frente a las cargas que es sometido.

**Palabras Clave:** modelo matemático, estructura, propuesta, comportamiento.

## **Abstract.**

In this research work, a mathematical model will be carried out to propose an alternative to the existing bridge in the La Iberia parish known as the General Víctor Manuel Serrano Bridge. To carry out this process, different types of research have been used, starting with the measurement and observation of the characteristics of the current structure, followed by an exhaustive analysis of information about the design of bridges with which the characteristics of the bridges begin to be specified. elements presented in the model. Finally, an analysis of the proposed structure has been carried out to understand its behavior against the loads it is subjected to.

**Keyword:** mathematical model, structure, proposal, behavior.

## ÍNDICE.

Resumen.....	2
INTRODUCCIÓN.....	10
Importancia del tema.....	10
Actualidad de la problemática.....	11
Estructura del trabajo. (Se completa el otro semestre).....	12
1.  CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1  Antecedentes (Línea Base del Proyecto).....	14
1.2  Descripción de la Situación Problemática (Causas y efectos). ....	15
1.3  Formulación del Problema: Preguntas Científicas. ....	16
1.4  Delimitación del Objeto de Estudio. ....	17
1.5  Justificación.....	17
1.6  Objetivos: General y Específicos. ....	18
1.6.1  Objetivo General.....	18
1.6.2  Objetivos Específicos. ....	18
2.  CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1  Antecedentes Contextuales. ....	19
2.2  Antecedentes Conceptuales.....	23
2.2.1  Puentes. ....	23
2.2.2  Partes Generales de un Puente. ....	23
2.2.3  Cimentaciones de un Puente. ....	24
2.2.4  Puentes Atirantados. ....	25
2.2.5  Cables de Atirantamiento y de Retención.....	25
2.2.6  Factores a Tomar en Cuenta para un Diseño de Puente Atirantado. ....	26
2.2.7  Factores a Verificar para un Diseño Apropriado de Puente.....	27
2.2.8  Análisis Dinámico.....	28
2.2.9  Análisis No Lineal. ....	29
2.3  Antecedentes Referenciales. ....	29
3.  CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	31
3.1  Modalidad Básica de la Investigación.....	31
3.2  Tipo de Investigación. ....	31
3.3  Objeto de Estudio.....	32
3.4  Descripción de la Población y Muestra.....	32
3.5  Métodos Teóricos con los Materiales Utilizados. ....	33

3.5.1	Comportamiento de un Puente Atirantado.....	33
3.5.2	Modelación. ....	35
3.5.3	Pre-dimensionamiento. ....	37
3.5.3.1	Detalle de las secciones de los elementos. ....	41
3.5.3.2	Otras características de la propuesta. ....	45
3.5.3.3	Distribución de Cargas. ....	46
3.5.4	Análisis del Comportamiento de la Estructura. ....	46
3.5.4.1	Análisis Dinámico Espectral. ....	46
3.5.4.2	Modelo Equivalente. ....	48
3.6	Métodos Empíricos con los Materiales Utilizados.....	49
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	50
4.1	Análisis de Resultados. ....	50
4.1.1	Análisis Modal.....	50
4.1.2	Tensiones en los Cables.....	51
4.1.3	Análisis por Estado Límite – Servicio IV.....	54
4.1.4	Análisis por Estado Límite – Fatiga I.....	56
4.1.5	Análisis por Estado Límite – Servicio I. ....	57
4.1.6	Análisis por Estado Límite – Resistencia I.....	59
4.1.6	Dimensionamiento Final de Elementos. ....	60
4.1.6.1	Tablero.....	60
4.1.6.2	Vigas Principales. ....	61
4.1.6.3	Diafragmas. ....	62
4.1.6.4	Pilonos. ....	63
4.1.6.5	Vigas de torre. ....	64
4.1.6.6	Tirantes. ....	64
4.2	Interpretación de Datos. ....	65
4.2.1	Análisis Modal. ....	65
4.2.2	Análisis de Tensiones en Cables.....	66
4.2.3	Análisis por Estados Límite. ....	67
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....	69
5.1	Conclusiones. ....	69
5.2	Recomendaciones.....	71
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	73
7.	ANEXOS.....	80

## Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1: Ubicación de la estructura actual. (Google Earth).....	14
Ilustración 2: Objeto de estudio (Google Maps).....	17
Ilustración 3: Puente del Tátara, Japón. (Carrillo, Luis).....	19
Ilustración 4: Puente Las Caras (El Diario) .....	21
Ilustración 5: Puente Humberto Alvarado, Quevedo (Mapio.net).....	22
Ilustración 6: Etapas de la Investigación (Autor) .....	32
Ilustración 7: Modelado de la Estructura del Puente – Visualización Standard (Autor). .....	36
Ilustración 8: Modelado de la Estructura - Elementos Extruidos (Autor). .....	36
Ilustración 9: Vista en Planta del Modelado de la Estructura (Autor). .....	36
Ilustración 10: Vista Frontal del Modelado de la Estructura (Autor). .....	37
Ilustración 11: Concepto Básico de los Puentes Atirantados. (Francisco Javier Carrión) .....	38
Ilustración 12: Distribución Tipo Abanico (Marisa Mendoza). .....	38
Ilustración 13: Sistema Atirantamiento Propuesto con Numeramiento de tirantes (Autor). .....	39
Ilustración 14: Tipos de Torres (Marisa Mendoza) .....	40
Ilustración 15: Vista de la torre (Autor).....	40
Ilustración 16: Detalle de Vigas Principales en metros (Autor) .....	42
Ilustración 17: Detalle del Tablero en metros. (Autor).....	42
Ilustración 18: Detalle del Diafragma en metros (Autor).....	43
Ilustración 19: Detalle de tirante 9C15 en centímetros (Autor).....	44
Ilustración 20: Detalle de Tirante 12C15 en centímetros (Autor). .....	44
Ilustración 21: Detalle de Tirante 13C15 en centímetros (Autor). .....	45
Ilustración 22: Detalle de las torres en metros (Autor).....	45
Ilustración 23: Detalle de cargas losas alivianadas (Aceros Arequipa).....	46
Ilustración 24: Gráfica Espectro Elástico (NEC Peligro Sísmico). .....	48
Ilustración 25: Espectro de Respuesta Elástico (Autor). .....	48
Ilustración 26: Numeración de tirantes. (Autor). .....	52
Ilustración 27: Gráfica Deformaciones por Servicio IV (Autor). .....	55
Ilustración 28: Gráfica Deformaciones por Fatiga I (Autor). .....	57
Ilustración 29: Gráfica de Deformaciones por Servicio I (Autor). .....	59

Ilustración 30: Gráfica de Deformaciones por Resistencia I (Autor). .....	60
Ilustración 31: Tablero - Vista 3D (Autor) .....	61
Ilustración 32: Viga Principal - Vista 3D (Autor). .....	62
Ilustración 33: Diafragmas - Vista 3D (Autor). .....	63
Ilustración 34: Juego de Torres (Autor).....	64
Ilustración 35: Distribución de Tirantes - Por tipo (Autor). .....	65

## Índice de Tablas.

Tabla 1: Diámetro y características de torones (Freyssinet).....	39
Tabla 2: Detalle de los elementos cable y sus características mismas unidades (Freyssinet). .....	44
Tabla 3: Valores para el Espectro Elástico. (Autor) .....	47
Tabla 4: Períodos y Participación de masas de la Estructura. (Autor). .....	50
Tabla 5: Tensiones en los Tirantes. (Autor) .....	52
Tabla 6: Sag (Autor). .....	53
Tabla 7: Deformaciones en Tablero - Servicio IV.....	54
Tabla 8: Deformaciones en Tablero - Fatiga I. (Autor). .....	56
Tabla 9: Deformaciones en Tablero - Servicio I. (Autor).....	57
Tabla 10: Deformaciones en Tablero - Resistencia I. (Autor).....	59
Tabla 11: Características del Hormigón del Tablero. ....	61
Tabla 12: Dimensiones de la Viga Principal. (Autor).....	61
Tabla 13: Características del Acero A572 Gr 50. (Autor).....	61
Tabla 14: Detalle del Ángulo simple (Autor). .....	62
Tabla 15: Características del Acero A36 Gr 36 (Autor). .....	62
Tabla 16: Clasificación Tirantes por Colores (Autor). .....	65
Tabla 17: Tabla Resumen del Análisis Modal. (Autor).....	66
Tabla 18: Resumen del Análisis de Tensiones (Autor). .....	66

## **INTRODUCCIÓN.**

### **Importancia del tema.**

Los puentes son estructuras con demasiada relevancia ya que proporcionan una conexión física entre diferentes lugares facilitando la movilidad de los transeúntes, brindando además un aporte en el desarrollo tanto económico como social en los lugares donde son construidos (Castro & Sarmiento, 2020). Este tipo de estructuras se ven afectadas por diversos factores que provienen tanto de las características físicas del entorno tales como humedad, variaciones en la temperatura, suelos, etc., como de la misma población y diseño, es decir, sobrecargas no consideradas en su diseño, falta de mantenimiento, capacidad geométrica, etc. (Garita et al., 2018). Varios de estos constituyentes están inmersos en la realidad del Puente General Víctor Manuel Serrano en el tramo de vía Machala – El Guabo, ubicado en la parroquia La Iberia, cantón El Guabo.

Estas estructuras presentan patologías en su estructura a causa de los factores mencionados anteriormente, disminuyendo así su durabilidad, necesidad de mantenimiento frecuente y ciertas limitaciones por complicaciones patológicas como fisuras, corrosión, erosión, desgarramiento, deterioros de cualquier tipo o también socavación dependiendo del tiempo de vida útil estimada para cada tipo de construcción. (Machado et al., 2021)

Según Christopher Marín y Juan Maldonado en su estudio Las causas más frecuentes de fallas de puentes se atribuyeron a inundaciones, sobrecargas e impactos de ríos. El puente mencionado presenta diferentes fallas tanto en su infraestructura como en su superestructura. Una de las fallas más predominantes en este sistema estructural se da por el hundimiento de las pilas, en casos generales dicho problema normalmente se da por el cambio en las condiciones del suelo debajo del puente, la erosión del suelo debido a la corriente de agua debajo del puente, o el sobrepeso del puente debido a un tráfico excesivo. (Marín Christopher & Maldonado Juan, 2022)

En el Puente General Víctor Manuel Serrano sobresale el tráfico excesivo y el río Jubones, lo que como ya se ha mencionado provoca que la estructura presente fallas por hundimiento en las pilas. En los últimos años, los cimientos de los pilares se han deteriorado, el 10 de febrero de 2021 la crecida del río se elevó provocando la fisuración

del relleno de piedra que funcionaba como protección de varias partes del puente, lo que provocó la erosión y el colapso en una de sus pilas intermedias.

Todos estos aspectos son la base por la cual se ha visto la necesidad de ejecutar una investigación con el fin de establecer alternativas para un nuevo diseño de puente. Por esta razón se ha planteado realizar **“Alternativas de puente sobre el río Jubones con tablero tipo losa sobre vigas metálicas en el tramo Machala – El Guabo, parroquia La Iberia”**.

#### **Actualidad de la problemática.**

En la actualidad, existe un exponencial crecimiento poblacional, con ello la demanda en cualquier campo también incrementa, el problema de este factor es que el diseño del puente General Víctor Manuel Serrano fue elaborado aproximadamente en los años 1950, por la antigüedad de la misma no se han hallado los planos estructurales de la obra, lo que limita la caracterización estructural que se puede tener de la misma, por ejemplo, se ha podido determinar a base de inspecciones y análisis de la estructura que las pilas del puente se apoyan en pilotes, pero no se conoce con exactitud la profundidad a la que llegan estos elementos. (Ordorica-Mellado, 2021) (Andrade Malla, n.d.)

Hoy en día los puentes se diseñan para cumplir con una vida útil más de 100 años, pero en el año 1950 no había grandes avances científicos o al menos se conoce que no eran tan exactos como para determinar adecuadamente cuál sería la carga en 70 años, por lo que los esfuerzos actuales podrían solicitar al puente más de lo estimado en etapas de diseño y posterior construcción. Los deterioros son muy notorios en cada segmento del puente, existe un escalón en la calzada debido a asentamientos diferenciales previos y las juntas de dilatación se encuentran en mal estado. (Beade Pereda, 2022)

Se conoce que el río Jubones tiene unas crecidas muy fuertes en la temporada de lluvias que se da entre diciembre y mayo, lo que puede socavar los pilares y los cimientos del puente (Fajardo Sánchez, 2010). Además, la sobredemanda puede debilitar las estructuras, llevar al límite de su capacidad a los elementos, interrumpir la funcionalidad del puente y aumentar el riesgo de colapso. Pero como ya se ha mencionado, todos los puentes sobre ríos son susceptibles a este tipo de problemas, por lo que es necesario proyectar, diseñar y construir puentes de manera que respondan a las condiciones críticas establecidas en los estudios básicos de otras ingenierías.



La estructura se ve afectada negativamente por el cauce del río, pero esto también funciona en viceversa, es decir, el cauce del río se altera debido a la existencia del puente y de su sistema estructural. Es importante recordar que un puente no es estable si la sección del río en cuestión no es estable. El río es naturalmente móvil y de naturaleza cambiante. Así, el estudio de un puente que interactúa con un río no puede separarse del correspondiente estudio de la hidráulica fluvial.

El puente actual interfiere con el cauce del río debido al sistema estructural que tiene, la mayoría de su infraestructura penetra al mismo, además en 2013 el Gobierno Provincial de El Oro en la época que el cauce dejaba descubierta la estructura, situaron enrocados alrededor de las pilas para protegerlos ante un impacto con materiales flotantes que lleva el río en épocas de crecida. Estos materiales podrían impactarse con las pilas modificando la sección y en el peor del caso provocando daños (ruptura) de pilotes, dejando sin base fija a las pilas y por tanto desestabilizando la estructura del puente. Además, se estimó que la longitud de los pilotes es aproximadamente 15 - 18 m.

### **Estructura del trabajo. (Se completa el otro semestre)**

El siguiente trabajo de investigación se regirá bajo cierta estructura dividida en capítulos, cada uno con el fin de clasificar la información según lo que se pretenda hablar, a continuación, se especificará brevemente los contenidos de cada uno.

En el capítulo I se presenta la línea base del proyecto, además de una descripción de la situación actual del problema y delimitando el objeto de estudio, la justificación que da importancia a este trabajo de investigación y a su vez los objetivos a cumplir para ejecutar el trabajo.

En el capítulo II se habla acerca de los antecedentes contextuales, presentando una englobalización del tema a tratar; después se añadirán los antecedentes conceptuales y referenciales que mencionarán los conceptos más fundamentales para el entendimiento del tema.

En el capítulo III se menciona el tipo de investigación, el objeto de estudio y los métodos tanto empíricos como teóricos que se han requerido para la realización de este trabajo, se especifican características de la alternativa propuesta.

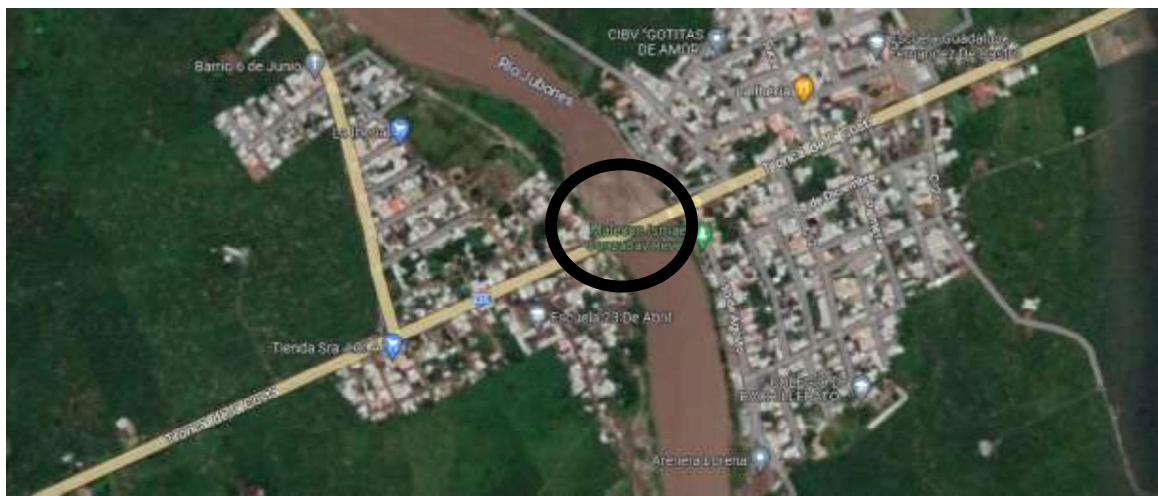
En el capítulo IV se termina el trabajo con una representación de los resultados que se han obtenido del modelo matemático creado a partir de la investigación, donde se

mencionan las características propias de la alternativa y el contraste que estos resultados tienen con la información que se ha recolectado de otros trabajos.

## 1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1 Antecedentes (Línea Base del Proyecto).

La parroquia La Iberia es un sector rural del cantón El Guabo en la Región Litoral de la República del Ecuador; gozando de un clima tropical húmedo con una temperatura promedio de 25° C con precipitaciones anuales de 2000 mm en épocas lluviosas. Es la comunidad que une la vía Machala – El Guabo gracias al puente que atraviesa al río Jubones conocido como el General Víctor Manuel Serrano, ubicado en la vía E25 – Troncal de la Costa. (GAD LA IBERIA, 2019)



*Ilustración 1: Ubicación de la estructura actual. (Google Earth)*

Según el VII Censo de Población y VI Vivienda realizado por el Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC) en el año 2010, la Parroquia La Iberia contaba con 3.709 habitantes. En este sector se ubica el Puente General Víctor Manuel Serrano. La población de la parroquia rural La Iberia se proyectó en 4.720 personas en 2020 según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial creado en 2019. Esta estimación se basó en información proporcionada por el INEC en sus análisis anteriores. (GAD LA IBERIA, 2019)

Cabe mencionar que los usuarios del puente no son solo los habitantes de dicha parroquia, al ser una vía altamente transitada por el comercio en general y el desplazamiento interurbano. Por esta razón las condiciones sociales no deberían analizarse solo de la ubicación del puente sino de todos los usuarios que transiten por él habitualmente, como

podrían ser, usuarios provenientes de los dos cantones que se conectan (Machala y El Guabo).

Económicamente hablando, la producción de la parroquia es principalmente agrícola, que es el denominador común entre los cantones de la provincia de El Oro y se dedica casi en su totalidad a la producción de banano. Como resultado. Aunque, debe agregarse el comercio de Machala que consta no solo en banano sino también en la producción de camarón que son llevados a ciudades más grandes como lo es Guayaquil. (GAD LA IBERIA, 2019)

La estructura que se quiere reemplazar es usada por los camiones que transportan banano y por los mismos habitantes del sector, pero también por los autobuses propios de la parroquia y los interurbanos; además de los vehículos que viajan de una ciudad a otra, como por ejemplo entre Machala – El Guabo, agregando como se mencionó anteriormente el comercio de estas mismas ciudades, en el caso de Machala con su exportación a otras ciudades. Todos estos factores alimentan la economía del sector de alguna u otra manera. El puente facilita el circulamiento de todos los tipos de vehículos que se han mencionado anteriormente, una estructura determinante para mantener la economía del sector y para contribuir al aspecto social de todos sus usuarios al facilitar su movilización.

## **1.2 Descripción de la Situación Problemática (Causas y efectos).**

La vida útil del puente está próxima a culminar, ha brindado su servicio desde 1950, alrededor de 70 años en los que se han realizado varios procesos de mantenimiento para garantizar su seguridad y prolongar su vida útil. Esto incluye inspecciones regulares, reparaciones, limpieza y protección contra la corrosión. El deterioro de la estructura es notorio debido a su antigüedad, hay muchos factores que perjudican al sistema estructural del puente.

El Puente General Víctor Manuel Serrano atraviesa el río Jubones, un río que en ciertas épocas tiene una gran crecida que afecta negativamente al puente ya que provoca corrosión de los materiales expuestos y deterioro que a pesar de los mantenimientos que se le han llevado a cabo en los últimos años, no son suficientes para mantener la estructura estable. Todo esto conduce a que cada vez los costos de operaciones son más elevados

cada vez, volviéndose un problema económico para el Gobierno, y reduciendo más su vida útil.

La capacidad de carga de servicio es insuficiente actualmente, el diseño fue elaborado en 1950, fecha en la que los avances ingenieriles no llegaban a lo que se conoce ahora, los datos para estimar este factor no eran los suficientes como para estimar de buena manera la capacidad de carga que debería soportar en 70 años, esto también es por el gran incremento poblacional que se ha dado a lo largo del tiempo. Muchos estudios indican que la sobrepoblación no era un tema controversial en esos años. Actualmente, hay más información sobre esto, por lo que hacer un diseño pensando en una vida útil de 100 años debería ser más exacto. Toda la información indica que el sistema estructural y su capacidad actual aparentemente no es la indicado, lo que conllevaría restricciones vehiculares en el puente, generando retrasos para los conductores y limitando económicamente a todos aquellos dependientes del puente por su pobre circulación. (Ordorica-Mellado, 2021)

La subestructura del sistema ha sufrido severas alteraciones de condiciones de diseño debido al accidente geográfico que atraviesa, el río Jubones, un río que como ya se ha mencionado posee bastante caudal en cierta temporada del año. Con el paso de los años ha provocado cada vez más mayor socavación en las pilas del puente y, además, ya se ha presentado hundimiento en una de sus pilas lo cual perjudica gravemente a la estructura, durante los años se han realizado actividades tratando de enfrentar este problema, no solo mantenimientos, en 2011 el GAD provincial de El Oro realizó un proceso de empedrado alrededor de las pilas para contrarrestar el daño en las pilas, lastimosamente no fue suficiente ya que el 10 de febrero de 2021 la crecida del río colapsó a dicho empedrado, a esto sumarle el hundimiento de una pila como ya se ha mencionado. Como consecuencia de las alteraciones de condiciones de diseño se tiene una estructura limitada con presencia de inestabilidad y menor confiabilidad estructural, esto puede resultar en fallos estructurales y posibles desastres como colapsos en el puente.

### **1.3 Formulación del Problema: Preguntas Científicas.**

Para la presente investigación se han planteado las siguientes interrogantes que sirven para comprender lo que sucede con respecto al puente actual.

- ¿El puente presta un servicio de capacidad de carga suficiente para sus usuarios?

- ¿Cuál es el estado de la estructura del puente actualmente?
- ¿La subestructura del puente ha sufrido alteraciones de condiciones de diseño?

Con toda esta información se puede emitir una interrogante general para la investigación, la cual se plantea como: ¿Los usuarios del puente Machala - El Guabo utilizan una obra civil que presta un servicio en buenas condiciones de seguridad estructural?

#### 1.4 Delimitación del Objeto de Estudio.

En la vía Machala – El Guabo conocida como Troncal de la Costa, ubicado en la provincia de EL Oro, Ecuador, se encuentra un puente vehicular que atraviesa el río Jubones conectando de esta manera a los cantones Machala y El Guabo. Una estructura muy importante para la región, ya que aporta una conexión crucial entre las dos ciudades y a su vez, apoya a la parroquia que se encuentra intermedia, La Iberia. Este puente conecta también a la misma parroquia La Iberia, que se encontraba dividida por el río, posee aproximadamente 155 m de longitud y da flujo a la vía ya mencionada. (GAD LA IBERIA, 2019)



*Ilustración 2: Objeto de estudio (Google Maps)*

#### 1.5 Justificación.

En los últimos años se han dado diferentes anomalías en torno al puente ubicado en el tramo de vía Machala – El Guabo. Una estructura que, debido a las acciones humanas y a su vida útil, ya no aporta la misma seguridad que en su momento. Se ha investigado

cierta cantidad de artículos científicos publicados en bases de datos para la elaboración de este estudio, el cual será de utilidad no solo para la identificación de tipos de sistemas de puentes sino también si se planea realizar una nueva estructura que reemplace a la actual.

Esta investigación aportará una alternativa de diseño de puente pertinente, capaz de resistir las cargas a las que se verá sometida y tratará de afectar lo mínimo posible al cauce del río, a su vez de resistir la fuerza de este. Se plantearán los cálculos para la elaboración de este, además de un modelo matemático que compruebe los datos. La construcción de puentes vehiculares incluye una serie de factores que se deben tener en cuenta desde el momento del diseño para poder garantizar un correcto desempeño, entre ellos están los tiempos de construcción, adaptabilidad a posibles cambios en el diseño, la facilidad que tendrán los vehículos para movilizarse, entre otros.

## **1.6 Objetivos: General y Específicos.**

### **1.6.1 Objetivo General.**

Establecer una alternativa de diseño de puentes sobre el río Jubones mediante un tablero tipo losa sobre vigas metálicas en el tramo Machala – El Guabo en la parroquia La Iberia.

### **1.6.2 Objetivos Específicos.**

- Determinar las condiciones y las propiedades del entorno para la que se realizará el diseño del puente.
- Crear un modelo matemático de la alternativa de sistemas estructurales para el puente de la parroquia La Iberia.
- Establecer un diseño que permita comparar el desempeño estructural de un puente en función de las solicitaciones de carga del sitio de implantación.

## 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

### 2.1 Antecedentes Contextuales.

La construcción de puentes en ingeniería civil ha existido desde la antigüedad, con los primeros registros de puentes colgantes hechos con cuerdas o plantas (López Pacheco & Rosas Rojas, 2022). Los romanos también construyeron puentes de mampostería y de madera en su imperio. A medida que la tecnología y los materiales avanzaron, los puentes se volvieron más sofisticados, estos se construyeron en distintos tamaños y formas. Los puentes modernos se construyen con materiales como acero, concreto y fibra de vidrio, además que se utilizan diseños sofisticados para asegurar su seguridad y durabilidad. (Beade Pereda, 2022)

Actualmente existen grandes estructuras tipo puente en el mundo, son una solución en cualquier lugar, por su importancia para los usuarios es que se necesita plantear y diseñar de manera efectiva a dicha obra (Corres Peiretti et al., 2022). Hay muchos puentes atirantados en el mundo, algunos de los cuales son famosos por su impresionante diseño, por ejemplo, el gran puente de Tátara ubicado en Asia, un continente con un buen desarrollo arquitectónico e ingenieril. (Carrillo Alonso, 2015)



*Ilustración 3: Puente del Tátara, Japón. (Carrillo, Luis)  
Fuente: [https://oa.upm.es/39390/1/Luis\\_Carrillo\\_Alonso.pdf](https://oa.upm.es/39390/1/Luis_Carrillo_Alonso.pdf)*

El puente atirantado Cebú-Córdoba es un puente que conecta las ciudades de Cebú y Córdoba en la isla de Mactan en Filipinas. Se trata de un importante proyecto de infraestructura destinado a mejorar el transporte y la movilidad en la región. El puente



tiene una longitud de 8,5 kilómetros y consta de dos torres de acero de 145 metros de altura que soportan cables de acero que, a su vez, sostienen el tablero del puente. La plataforma tiene 27,3 metros de ancho y está diseñada para albergar hasta cuatro calzadas por sentido y un carril para bicicletas y peatones. (Manterola et al., 2020)

Promocionado como uno de los puentes más largos y modernos de Filipinas, se espera que mejore significativamente la conectividad y el desarrollo económico en la región y se inauguró en 2022. El puente está diseñado para soportar terremotos y tifones, y puede soportar velocidades de viento de hasta 60 metros. el segundo. Además, dispone de un carril para motos y bicicletas, así como dos carriles para vehículos a motor. (Manterola et al., 2020)

En Latinoamérica también existe grandes diseños de puentes, con una buena arquitectura y un buen sistema ingenieril. Por ejemplo, el Puente Rayito de Sol, inaugurado en 2006, se ubica entre el Rímac y Cercado de Lima y tiene una luz de aproximadamente 216 m cruzando el río Rimac. La estructura está formada por un vano atirantado formado por un tablero mixto de hormigón y acero, un vano de acceso cuyo tablero está formado por vigas pretensadas y una losa de hormigón armado, pilares de hormigón armado que soportan el vano de acceso, escaleras de hormigón armado de acceso medio y final, rampa de acceso en un extremo, una torre de hormigón armado que soporta el vano atirantado y cables atirantados que soportan el vano principal. El tablero del tramo principal atirantado consta de dos luces con un apoyo central en la torre. En cada vano de este tramo salen de la torre a distintas alturas 20 cables de diferentes longitudes, haciendo un total de 40 cables, distribuidos cada 5,80 m en el vano mayor y cada 4,00 m en el menor. (León et al., 2022)

En Paraguay, a partir de 2020, estaba prevista la construcción de un puente sobre el río Paraguay para abrir un nuevo paso a la capital, Asunción. Para comprobar la viabilidad del proyecto, se encargó un estudio para evaluar las distintas alternativas técnicas que podrían considerarse. Los terrenos de la zona inundable del río resultaron con capacidades portantes débiles, lo cual lleva a limitar las alturas máximas de terraplén que es posible ejecutar, y como consecuencia al aumento de la longitud de estructura total a materializar respecto de la estricta hidráulicamente. Con base en estos estudios se generó una alternativa de puente atirantado y se consideró con torres simples y dobles. (Carrillo et al., 2022)

El tablero del puente constaría de dos, el vano principal es de 260,0 m, el vano de compensación es de 94,50 m, o sea, la longitud total del tablero del puente es de 449 m. El atirantamiento propuesto es en abanico con dos planos de tirantes que arrancan de ambos bordes del tablero. La solución de puente atirantado cumple mejor con el requisito de conseguir un elemento visual y estético diferenciador, para la nueva entrada a la capital del estado. Finalmente, la decisión adoptada se decantó por esta segunda solución. (Carrillo et al., 2022)

En Ecuador, durante los últimos años ha incrementado sus construcciones de puentes bajo este modelo, los atirantados, dándoles una buena arquitectura, embelleciendo al país y mejorando la calidad de circulación en sus vías. Ubicado en la provincia ecuatoriana de Manabí, El Puente de Las Caras es un popular destino turístico. Está situado en Bahía de Caráquez y es famoso por su diseño distintivo, que incluye esculturas de rostros humanos a lo largo de sus costados. El puente mencionado tiene 1980 metros de longitud y 13.20 metros de ancho total, es una estructura que ha facilitado el tráfico vehicular y peatonal entre ambas localidades, aunque en el 2017 se presentaban agrietamientos en su capa asfáltica (Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Ecuador), 2015). Además, en los puentes de Manta se han realizado sistemas de protecciones laterales para los vehículos, en todo momento buscaron la adaptabilidad mediante la Norma AASHTO. (Delgado Castro & Lucas Alay, 2019)



*Ilustración 4: Puente Las Caras (El Diario)*

*Fuente: <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/453232-puente-los-caras-cumple-siete-anos-de-operatividad/>*

Existen varios puentes atirantados en Ecuador que también han apoyado al turismo de sus zonas, un ejemplo de esto es el puente Humberto Alvarado, ubicado en Quevedo, en la provincia de Los Ríos, Ecuador. Este puente fue construido sobre el río Quevedo y conecta la zona sur de la ciudad con el centro. El puente Humberto Alvarado tiene una longitud de 465 metros y cuenta con dos carriles de circulación en ambos sentidos. (El Universo, 2011)



*Ilustración 5: Puente Humberto Alvarado, Quevedo (Mapio.net)*

*Fuente: <https://mapio.net/pic/p-56968121/>*

Las fallas y colapsos de puentes ocurren en todo el mundo, y sus causas y efectos tienen relación a los suscitados en Ecuador. La mayoría de los puentes en el Ecuador están diseñados para atravesar un cauce, en el caso del puente de La Iberia, este se ubica sobre el río Jubones. Se conoce gracias a estudios a nivel mundial y experiencias vividas en el país que el problema más común que genera la falla en puentes proviene de la actividad sísmica y del comportamiento hidráulico de ríos y quebradas, estas pueden provocar un colapso ya que la fuerza de las aguas en aumento puede causar daños estructurales en los pilares, vigas y losas del puente. (Rodríguez-Roblero et al., 2021)

La ubicación del puente en el río representa un cambio artificial del equilibrio natural del río; la infraestructura del puente (pilas y estribos) son considerados como elementos extraños en la corriente que forman la interacción entre el puente y el río. Durante esta interacción puente - río, este tiende a querer eliminar el puente mientras la estructura

busca netamente su estabilidad. Hay ocasiones en las que el puente están mal contruidos desde el punto de vista hidráulico ya que no permiten que el agua fluya como debería, por ello la estructura se debe diseñar bajo las características propias y específicas de dicho río. (Rincón Ortiz et al., 2017)

En Ecuador, a pesar de que a lo largo de los años se han construido una cantidad de puentes considerable, no existe un reglamento que se adapte tal cual, a las condiciones de nuestro país, por lo que la mayoría de los ingenieros toman en cuenta a la norma AASHTO LRFD, junto a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y a la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI). (Borja Salazar & Taipe Anasi, 2017) (Quispe Auccapuella & Chihuán Cangalaya, 2016)

## **2.2 Antecedentes Conceptuales.**

### **2.2.1 Puentes.**

La construcción civil abarca la realización de obras tales como casas, edificios, puentes, presas, cimientos de máquinas, carreteras, aeropuertos y otras infraestructuras. A lo largo de la historia, la construcción civil ha sufrido grandes transformaciones, dado que la evolución de los métodos constructivos, la innovación con nuevos sistemas constructivos y la incorporación de diferentes materiales, capaces de satisfacer diversas necesidades y ser aplicados en nuevos contextos. (Alves dos Santos et al., 2022)

Los puentes son considerados como obras básicas, estructuras que permiten salvar desniveles, accidentes geográficos u obstáculos artificiales en el sentido de su eje, donde no sea posible el tránsito, y cuando el puente forme parte de una carretera, deberá diseñarse para lograr y cumplir los objetivos de la calzada (Núñez Escobar, 2014).

Los puentes simbolizan las aspiraciones e ideales de la humanidad. Cruzan las diversas divisiones que nos separan y unen a pueblos, comunidades y naciones lo que fortalece al entorno tanto a nivel social como económico. Además, agilizan las movilizaciones reduciendo los tiempos de viaje entre dos puntos y promoviendo el comercio. (Plasencia Lozano, 2014)

### **2.2.2 Partes Generales de un Puente.**

En breves líneas, un puente está formado por 2 partes principales: el tablero y los apoyos. Por lo general, además de estas dos partes también llevan una armadura. El tablero se

soporta sobre los estribos y pilares, siendo la distancia entre estos dos puntos de apoyo, a esto se le determina como vano. Cabe mencionar que estos soportes sostienen el peso del puente, según la disposición y diseño del puente; y los apoyos, que se encuentran en los extremos del vano, pueden ser de varios tipos.

El tablero se refiere a la estructura horizontal que conforma la superficie de tránsito del puente, o sea el área por donde pueden circular los automóviles, peatones u otros medios de transporte. La colocación de los tirantes afecta en gran medida a la sección transversal del tablero. En los puentes atirantados, normalmente consta de dos vigas longitudinales que se sitúan en los bordes del tablero y están conectadas por diafragmas. Además, normalmente consisten en un tablero cerrado tipo caja con voladizos laterales (dovelas); sin embargo, diferentes iteraciones de la sección transversal encajan tanto en uno como en el otro sistema de tirantes. (Herrera Cevallos, 2007)

En un puente atirantado surge un nuevo elemento que es imprescindible, los pilones o torres que son un componente crucial de la estructura de este modelo de puentes porque soportarán toda la carga que debe distribuirse desde el tablero hasta los cables, y luego desde estos hasta el pilono o torre. Normalmente, el vano libre que tendrá el tablero entre sus puntos de apoyo determina la altura de estas torres con una fórmula de predimensionamiento. (Herrera Cevallos, 2007)

Además, está la existencia de los diafragmas que son elementos estructurales que se emplean para garantizar la estabilidad y la fortaleza de estas construcciones. Usualmente, son paneles horizontales que establecen la conexión entre las vigas principales o las vigas transversales en el puente y su principal función radica en la distribución equitativa de las cargas. Estos elementos pueden tener varias formas y tamaños, y su diseño depende del tipo de puente y sus requisitos específicos. (Pascual Santos, 2004)

### **2.2.3 Cimentaciones de un Puente.**

Para que los proyectistas procedan con el diseño, se debe alcanzar un alto nivel de conocimiento y certeza geotécnica para las definiciones de cimentaciones de puentes, particularmente cuando tienen grandes luces o alguna condición especial por singularidades del terreno o aspectos impuestos por la estructura. Se busca que los cimientos den confianza, garantizando adecuados factores de seguridad contra colapso, vuelco y deslizamiento, así como la estabilidad del suelo de cimentación para

las condiciones más desfavorables factibles, de acuerdo con las normas técnicas correspondientes. (Peña et al., 2017)

#### **2.2.4 Puentes Atirantados.**

Un puente atirantado es un tipo de puente en el que el tablero del mismo está sostenido por cables verticales o tirantes que se extienden desde el tablero hasta las torres. Estos cables se tensan para soportar el peso de la estructura y de los vehículos que lo atraviesan. La principal ventaja de los puentes atirantados es que pueden soportar cargas muy pesadas y cubrir grandes distancias sin la necesidad de pilares intermedios. Además, su diseño elegante y moderno los hace populares para proyectos de ingeniería y según su arquitectura son vistos como atracciones turísticas. (Manzano Suarez & Pérez Nolivos, 2012)

Dado que muchos de los componentes son los mismos, los procedimientos de rehabilitación de los puentes atirantados son muy similares a los de los otros puentes. Los sistemas de sustentación de estos, que utilizan cables o tirantes y exigen cosas muy diferentes a las que habitualmente se utilizan, son solo una de sus características más distintivas. (Criado Morán & Navareño Rojo, 2021)

Es necesario mencionar que las torres del puente deben ser lo suficientemente altas para proporcionar un espacio adecuado para la navegación por debajo del puente, pero también deben ser lo suficientemente robustas para soportar las tensiones del sistema de tirantes; la altura puede variar mucho, hay desde unos pocos metros hasta más de 300. Además, el sistema de tirantes es aquel que proporciona la resistencia necesaria para soportar el peso del tablero del puente y la carga de tráfico; y el tablero del puente es la superficie de la carretera que se extiende sobre los tirantes.

#### **2.2.5 Cables de Atirantamiento y de Retención.**

Los cables de atirantamiento son los que unen las torres o pilones al tablero; cumplen la función principal de la estructura, que es la de soportar la losa, y la carga se distribuirá según la función que cumpla. Los cables de atirantamiento pueden disponerse de diferente forma en cada viga, bien en el borde del tablero o bien en un único plano sobre su eje. (Herrera Cevallos, 2007)

Los cables de retención que se utilizan como sistemas de atirantamiento deben colocarse de modo que impidan el movimiento de la cabeza de la torre. Estos apoyos irán anclados a puntos fijos que puedan llegar al tablero y/o alternativamente, en su caso, conectados a un sistema de contrapesos (muertos) en el suelo para dar una buena estabilidad a la estructura. (Herrera Cevallos, 2007)

Los puentes se diseñan en función de la resistencia de los materiales utilizados y de cómo se distribuyen las cargas por toda la estructura. Por ello, los cables de acero están cuidadosamente tensados para resistir las cargas del tráfico, así como las corrientes de viento y del mar, mientras que las torres de acero están diseñadas para soportar los esfuerzos y tensiones producidas en la estructura (Viviescas et al., 2017).

### **2.2.6 Factores a Tomar en Cuenta para un Diseño de Puente Atirantado.**

La determinación de las distancias mínimas para un puente atirantado depende de varios factores, como la longitud del vano, la ubicación del punto de apoyo, la altura de las torres y la configuración de los tirantes. En general, las distancias mínimas se establecen para garantizar la seguridad de la estructura y minimizar el riesgo de interferencias con otras infraestructuras.

Cuando se trabaja con cables, es necesario determinar el número de tirantes en cada lado, o sea, la distancia entre los anclajes de los tirantes en la plataforma. El número de tirantes es uno de los temas más desarrollados en los puentes atirantados, ya que los primeros puentes de este tipo tenían muy pocos tirantes con más de 50 m de distancia entre anclajes; se trataba de crear una serie de soportes intermedios, etc. para convertir puentes de grandes luces en puentes de luces medias. Una vez determinado el número de tirantes a utilizar en el puente, es necesario determinar la geometría de cada viga, determinando si tendrá muchos tirantes muy juntos o pocos tirantes separados. (Herrera Cevallos, 2007)

Algunas especificaciones comunes aún no mencionadas que se suelen considerar en el diseño de un puente atirantado son la longitud del puente, el diseño sísmico y el diseño contra el viento. En Ecuador, el diseño sísmico es una variable que debe cumplirse en cualquier estructura que se pretenda construir, por ello el diseño del puente atirantado también debe tener en cuenta la posibilidad de terremotos en la zona donde se construirá el puente. Se deben seguir las normas de diseño sísmico apropiadas para garantizar la seguridad del puente y sus usuarios en caso de algún evento sísmico.

Hay que conocer que el diseño de un puente se rige bajo dos apartados, la ingeniería básica que incluye estudios topográficos, hidrológicos, geotécnicos, de riesgo sísmico, impacto ambiental, de tráfico, complementarios, de trazo y el anteproyecto, y el proyecto de ingeniería en el que ya se habla de los elementos, la presentación las cargas, especificaciones, verificaciones, etc. (Quispe Auccapuclla & Chihuán Cangalaya, 2016)

En general, se recomienda que la distancia mínima entre las torres de soporte de un puente atirantado sea de al menos dos veces la longitud del vano principal. Esto ayuda a garantizar que el puente tenga suficiente estabilidad y rigidez, y que las fuerzas de tensión en los cables de soporte sean uniformes y controlables.

### **2.2.7 Factores a Verificar para un Diseño Apropriado de Puente.**

En el diseño de puentes se deben verificar varios apartados para tener un buen diseño de puente, estos factores son: los estados límites tanto de servicio como de resistencia, el evento extremo y la fatiga. Los requisitos que desea que cumpla una estructura están especificados por un estado límite. Un elemento estructural normalmente necesitará satisfacer una variedad de estados límite. (Delgado-Castro et al., 2018)

En referencia a los estados límites de servicio en puentes se refieren a las condiciones en las que el puente debe ser capaz de funcionar de manera segura y eficiente para el uso previsto, es decir, deformaciones, vibraciones, tensiones y fisuración de los elementos (Cirilo Manzanarez, 2013). Sin embargo, en los estados límites de resistencia se establece la combinación de carga estadísticamente más significativa o más desfavorable, que el puente puede esperar durante toda su vida útil. Relacionado con la seguridad estructural, o sea, los límites máximos que se deben considerar en el diseño de puentes para garantizar que estos puedan soportar cargas de manera segura y confiable, considerándose el estado límite último y el estado límite de servicio. (Castro & Sarmiento, 2020)

En cuanto a evento extremo en puentes puede referirse a cualquier evento que exceda las cargas y las condiciones de diseño previstas para el puente, lo que puede provocar fallas y colapsos catastróficos. Estos pueden incluir a terremotos, vientos fuertes, entre otros. Para la investigación se lo tomará como la combinación de cargas que incluye sismos. (Reinoso Bajaña & Zambrano Bernal, 2014)

El debilitamiento gradual y acumulativo de un puente provocado por cargas cíclicas repetidas a lo largo del tiempo se denomina fatiga. Los puentes están construidos para



soportar cargas tanto estáticas como dinámicas, incluido el peso de los vehículos en movimiento, así como las fuerzas de las corrientes de agua y viento, además del sismo. Sin embargo, incluso las cargas dinámicas que parecen ser modestas, como el tráfico de vehículos, pueden ejercer una presión repetitiva sobre los componentes estructurales del puente, lo que puede provocar la fatiga del material. (Astiz Suárez, 2021)

La degradación del cable es causada tanto por la corrosión como por la fatiga, o por los efectos combinados de ambos. Actualmente, se reconoce ampliamente que son una variedad de factores, que se pueden dividir en dos categorías: carga viva y fuerzas laterales, los cuales trabajan juntos para producir fatiga. La carga viva puede causar variaciones de tensión en los cables a través de la aplicación estática de las cargas a través de la respuesta dinámica del puente bajo cargas en movimiento a través de la excitación paramétrica de los cables. A través de una variedad de mecanismos estáticos y aeroelásticos, que incluyen desprendimiento de vórtices, sacudidas y galope, las fuerzas laterales también pueden causar variaciones de tensión en los cables. (Astiz Suárez, 2021)

Para ver los factores de escala de cada estado límite, observar [Anexos 4](#).

### **2.2.8 Análisis Dinámico.**

El análisis dinámico de puentes se centra en evaluar cómo los puentes responden a cargas y fuerzas dinámicas, como el tráfico vehicular, el viento y los eventos sísmicos. Esta herramienta es esencial para garantizar la seguridad y la integridad de estas estructuras críticas de infraestructura, de este análisis se pueden elaborar dos tipos, el análisis espectral y el tiempo historia, cada uno con sus características propias. (Hernández Cepeda, 2021)

El análisis dinámico espectral sirve para evaluar la respuesta de las estructuras a cargas sísmicas, este tipo de análisis se basa en la teoría de la respuesta sísmica de estructuras elásticas, y su objetivo principal es prever cómo una estructura se comportará durante una actividad sísmica. (Medina Gruezo & Mora Mora, 2021)

El análisis dinámico tiempo/historia implica la simulación de la respuesta de una estructura a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta las fuerzas y aceleraciones variables que actúan sobre ella. Se utiliza un registro de aceleraciones sísmicas reales o artificiales como entrada, y se modela la estructura con sus propiedades físicas y de material. Luego,

se resuelve numéricamente la ecuación de movimiento para obtener la respuesta de la estructura en función del tiempo. (Hernández Cepeda, 2021)

### **2.2.9 Análisis No Lineal.**

El análisis no lineal es una rama de las matemáticas y la ingeniería que se utiliza para estudiar sistemas y fenómenos que no pueden describirse de manera efectiva mediante ecuaciones lineales. (Bairán García, 2012)

Un análisis no lineal es aquel que tiene en cuenta cómo se comportan los materiales en términos de tensión y deformación, así como la no linealidad en la geometría, y en este tipo de análisis no se aplica el principio de superposición de manera directa. (Bairán García, 2012)

### **2.3 Antecedentes Referenciales.**

En Ecuador, el diseño de puentes se rige por el Código General de Construcción de Puentes y Carreteras desarrollado por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) con base en normas, estándares y códigos internacionales para estandarizar las prácticas y procedimientos de diseño en todo el país.

Para cualquier trabajo que se haga con respecto a un puente atirantado, la metodología será similar en todos los casos, y se van a regir bajo un proceso similar, por ejemplo, Cala Monroy y Villar Galindo en 2017 mencionaban en su artículo *Predicción del comportamiento de puentes peatonales debido a la actividad humana usando modelos de computador* que su metodología para su trabajo era primero realizar una revisión bibliográfica conceptual al tema y después, se desarrollaría el modelo por computador que a su vez comprende, definiendo variables y calibrando el modelo. (Cala Monroy & Villar Galindo, 2017)

Este proceso simple no es muy diferente a lo que se plantea en este trabajo de investigación, donde se ha iniciado con una búsqueda de información bibliográfica y luego en los siguientes capítulos se mostrará el modelo matemático de la alternativa de puente gracias a un software especializado en este tipo de campos. De manera resumida el procedimiento es idéntico, a pesar de que para la alternativa que se va a proponer en realidad debe pasar por otros pasos primero, como lo son, los cálculos para el diseño base

del puente y al final comparar la propuesta con el puente que se encuentra en el tramo Machala – El Guabo.

Eilzer W. y Müller M. en su trabajo habla sobre el mantenimiento y el reemplazo de puentes, un artículo llamado *Puente de Colonia-Mülheim sobre el Rin: equilibrio entre la conservación del patrimonio y las estrategias de renovación de estructuras existente* aquí se menciona como un 40% de los puentes construidos en Alemania son de la época entre los 60 y 70, y estos fueron diseñados para las cargas de tráfico de la normativa de entonces, los cuales no tomaban en cuenta un factor importante que ya se ha definido, la fatiga. Además, habla de cómo este tipo de estructuras que actualmente están sometidas a cargas y volúmenes de tráfico mucho mayores para las que fueron diseñadas deben ser sustituidas si así lo requieren, esto se conoce luego de realizar una respectiva inspección, evaluación y recálculo de la estructura existente. (Eilzer, Muller, Lehman, et al., 2022)

Eilzer W. y Müller M. en otro de sus artículos *Reemplazo de dos puentes atirantados sobre el Rin: el puente de Leverkusen y el puente de Duisburg* menciona que estos puentes se terminaron de construir en 1965 y 1970 respectivamente. Estos están diseñados para unas cargas y volúmenes de tráfico muy inferiores a los que han soportado durante décadas, vienen registrando desde hace años daños y reparaciones asociados a la fatiga. Ante las proyecciones de tráfico futuras, ambos puentes requieren con urgencia el reemplazo por nuevos puentes, asegurando el mantenimiento del tráfico en todas las fases de la construcción. (Eilzer, Muller, Schumm, et al., 2022)

Por esta razón, la metodología que emplean en su trabajo, la cual es comparar al puente existente con el proyecto del nuevo puente. Estableciendo las características de ambos, tanto en dimensiones como en modelo y capacidades (Eilzer, Muller, Schumm, et al., 2022). Es algo similar a lo que se quiere presentar en este trabajo, se presume que las cargas a las que está sometida el puente actual de La Iberia son mayores a las consideradas en su diseño, por ello surge la idea de plantear una alternativa de un nuevo puente que solucione los problemas de la estructura actual.

Según Gil O. en su artículo *El puente de Alfonso XIII de Sevilla: análisis patrimonial* en Sevilla, España, también se han llevado análisis de diversos puentes, con el fin de corroborar si existe la necesidad de renovación o de sustitución de un puente es relativamente habitual debido a la lógica evolución de las condiciones de tráfico sobre

ellos. Aunque, el autor no solo hace énfasis en el reemplazo sino también en la reutilización de los puentes antiguos. (Gil, 2018)

### **3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.**

#### **3.1 Modalidad Básica de la Investigación.**

Cabe mencionar brevemente que la modalidad básica de la investigación se refiere al método principal empleado para la ejecución de una investigación. El presente estudio basa su modalidad básica en procesos sistemáticos y empíricos, es decir, se trabaja con una modalidad mixta.

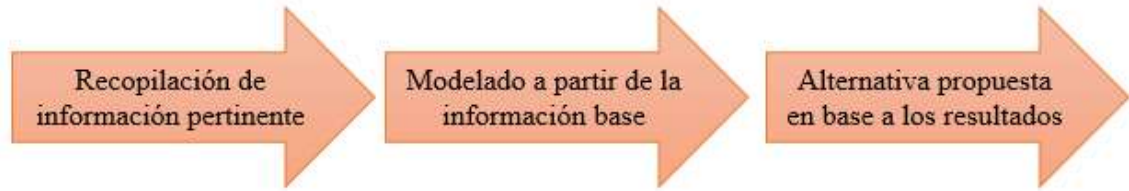
Se dice que este documento presenta la categoría sistemática debido a que para llevar a cabo la investigación se siguió un procedimiento estructurado y planificado con el fin de lograr resultados consistentes y confiables. En este caso, primero se hizo un estudio exhaustivo acerca de los puentes, sus tipos y características para la elaboración del modelo. Luego, se llevaron los análisis generales a un programa de modelación con el fin de hallar el estilo y propiedades del puente de estudio. Finalmente, se hacen variaciones según se requiera en el modelado para obtener resultados pertinentes y según estos, el diseño final del puente en cuestión.

En cuanto a la categoría empírica implica diseñar experimentos, encuestas, estudios de caso o cualquier otra técnica que permita recopilar datos observables y medibles. Para el caso, mediante la experimentación de datos en el programa de modelación se lleva a cabo esta modalidad de la investigación, como se ha mencionado anteriormente, con el fin de encontrar las características óptimas de la alternativa que se piensa proponer al final de la investigación. Un poco de la mano de lo que son análisis tanto cuantitativos como cualitativos de los datos e información obtenida a lo largo del proceso.

#### **3.2 Tipo de Investigación.**

Los trabajos de investigación deben desarrollarse mediante un plan de trabajo, se deben establecer ciertas variables que permitan ejecutar el trabajo de manera eficiente. En este trabajo de investigación se ha empleado una investigación bibliográfica, lo que significa que se busca y recopila información pertinente a partir de fuentes bibliográficas como son libros, artículos, revistas, y otros diversos materiales escritos.

Además, se ha usado la investigación experimental, debido a la manipulación de los elementos modelados, que son todos importantes para el planteo de un buen diseño, revisando sus características y comportamientos hasta llegar al resultado final.



*Ilustración 6: Etapas de la Investigación (Autor)*

### **3.3 Objeto de Estudio.**

El objeto de estudio como se ha mencionado en el apartado de delimitación del objeto de estudio es el puente existente en la parroquia La Iberia, conocido como el “El Puente General Víctor Manuel Serrano”, ubicado en el tramo de vía Machala – El Guabo, como se muestra en la ilustración 1. La alternativa que se propone en este trabajo sería la base para un reemplazo para la estructura actual que fue construido hace más de 50 años. Se tomará en cuenta netamente a dos cosas en particular:

- La zona en el que se encuentra ubicado el puente actual.
- El puente actual en cuestión.

### **3.4 Descripción de la Población y Muestra.**

La población que se vería beneficiada con el proyecto es mayor a la población neta de la parroquia La Iberia, ya que los usuarios que circulan por la estructura en cuestión va más allá de sus pobladores. Personas de otras ciudades usan el puente por transporte de pasajeros interurbanos, estudiantes de colegio y universidad, además de los camiones que transportan banano y camarón para exportación. Por ello si se habla de nivel económico, es una estructura que beneficia a un gran grupo de personas.

La muestra entonces es el puente que existe actualmente en la zona, el cual lleva ahí alrededor de 50 años, y que, debido a esto y diversos factores externos, se han pronunciado varios tipos de fallas en dicha estructura, por lo cual se plantea una alternativa de puente en este trabajo, el cual pueda ser fácilmente adaptado en otras zonas.

### **3.5 Métodos Teóricos con los Materiales Utilizados.**

El presente trabajo de investigación se dividió en varias etapas para su elaboración como se muestra en la ilustración 6, las cuales se definieron de la siguiente manera:

- Recopilación de información pertinente.
- Modelado a partir de la información base.
- Alternativa propuesta en base a los resultados.

#### **3.5.1 Comportamiento de un Puente Atirantado.**

El funcionamiento global de un puente atirantado se determina principalmente mediante la interacción entre sus diversos componentes, y la influencia de cada una de estas partes en el comportamiento general de la estructura dependerá de su tamaño o proporción. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

En la mayoría de los casos en puentes atirantados, se encuentra una configuración con tres vanos, siendo la del centro normalmente, la principal, la cual suele tener mayor longitud que las otras dos. Asimismo, en cada lado de la abertura principal se erigen dos estructuras elevadas, conocidas como torres, que sirven como puntos de anclaje para los tirantes y se conectan luego con las vigas longitudinales del puente. (Benjumea Royero et al., 2013)

Por otra parte, la diversidad de opciones para elegir los componentes que conforman la estructura y la variedad de tipologías disponibles generan una amplia gama de posibilidades, lo que a su vez resulta en numerosas alternativas en cuanto a su comportamiento. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

En el caso de los puentes atirantados, los aspectos más influyentes en el comportamiento son la distribución de los cables, el tipo de tablero que se emplee y también el tipo de torre. Es fundamental llevar a cabo una caracterización estructural de estos sistemas, ya que esto nos brindará una comprensión inicial de su comportamiento al evaluar cómo responden ante movimientos sísmicos. Por lo tanto, se explorarán los aspectos esenciales de esta caracterización. (Martinez Corcoba, 2015)

Es un hecho conocido que los momentos de flexión en el tablero aumentan a medida que este se vuelve más rígido, lo que sugiere la utilización de tableros más flexibles como medida para reducir la flexión. Además, se ha comprobado que la carga crítica que

provoca la inestabilidad es alta cuando la proporción entre la longitud del tramo principal y la longitud total es pequeña. Del mismo modo, si la relación entre la inercia de la torre y la inercia del tablero aumenta, la carga crítica disminuye. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

Un aumento en la rigidez de las torres conlleva una reducción en los momentos de flexión en la superficie del puente, y paralelamente, un incremento en la rigidez del tablero resulta en una disminución de los momentos generados en las torres. De manera similar, se observa un efecto análogo en las deformaciones del tablero, es decir, un aumento en la inercia de las pilas da como resultado una disminución en las deformaciones del tablero. (Benjumea et al., 2010)

En lo que respecta a la actividad sísmica, que representan una amenaza significativa para la estabilidad de estas construcciones, es importante mencionar que los puentes, los cuales son componentes esenciales en las redes viales, son particularmente susceptibles a estos eventos, lo que recalca la importancia de comprender los impactos sísmicos en estas estructuras. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

Los puentes atirantados de gran envergadura, debido a su considerable tamaño y flexibilidad, ocasionalmente muestran períodos fundamentales de vibración muy prolongados, lo que los diferencia de otras edificaciones y ejercen una influencia significativa en su respuesta dinámica. En términos generales, esta categoría de estructuras es intrincada, ya que se compone de varios elementos estructurales con propiedades individuales de rigidez y amortiguación diversas. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

Dado que son estructuras más flexibles en comparación con los puentes normales de vigas, es fundamental llevar a cabo un análisis dinámico exhaustivo para su diseño sísmico. Por lo tanto, resulta de gran importancia obtener con precisión los períodos de vibración, las formas modales y demás características. En general, se ha observado un rendimiento satisfactorio en términos de respuesta sísmica en estos puentes, ya que no se han registrado casos de colapso o daños significativos en los últimos años. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

Por lo general, los puentes atirantados presentan una baja susceptibilidad ante los efectos de los sismos. Sin embargo, los principales problemas surgen en la relación al tablero cuando se enfrenta a movimientos horizontales. Además, el componente vertical cobra

mayor relevancia en el análisis y diseño de las torres y tirantes, en contraste con el tablero, que, en puentes modernos, generalmente se sostiene mediante cables que actúan como una multitud de soportes elásticos distribuidos a distancias que el diseñador debe determinar. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

Varios estudios académicos han abordado el análisis del comportamiento de los puentes atirantados durante eventos sísmicos. Para empezar, se ha señalado que los modos de vibración iniciales tienen períodos extremadamente largos si su luz principal también lo es, están principalmente relacionados con las vibraciones del tablero.

Además, se ha establecido también que las tensiones máximas en los puentes atirantados de 3 vanos como es el caso normalmente poseen las tensiones máximas de los tirantes en los tirantes más distantes de los pilares en dirección hacia la luz principal. Por supuesto, esto es un tema que varía mucho según la configuración de los elementos en general, tanto tamaño de los tirantes como de su distribución, además de la longitud del vano principal, el tipo de tablero y vigas que se estén empleando. Por ello ninguna de estas estructuras va a mostrar resultados similares salvo en opciones específicas, pero se puede tener una idea base del comportamiento que se debe esperar. (Valdebenito & Aparicio, 2005)

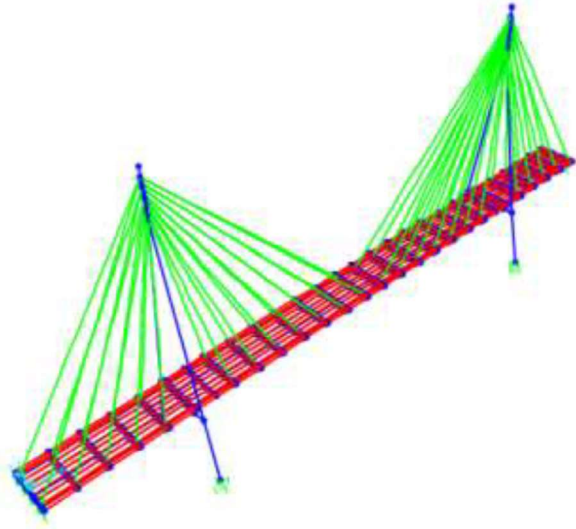
### **3.5.2 Modelación.**

La modelación es el proceso de simplificar o crear una representación abstracta de un sistema, fenómeno o proceso en la realidad. En este proceso, se desarrollan modelos, ya sea en forma matemática, computacional o conceptual, que capturan las características esenciales del sistema o fenómeno en cuestión. (Tamayo Roca, 2017)

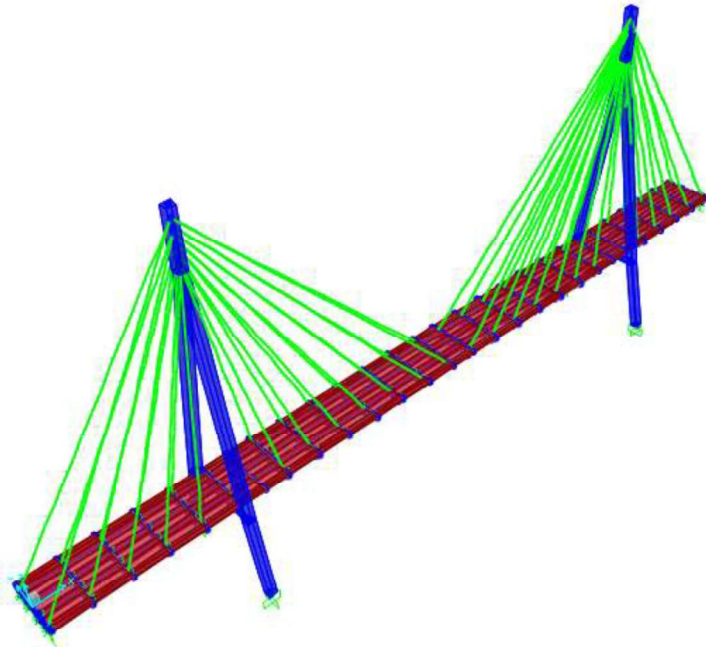
Estos modelos se utilizan para simular cómo se comportaría el sistema en diversas circunstancias o para hacer predicciones sobre su futuro. La modelación se convierte en una herramienta valiosa que nos permite tomar decisiones informadas, resolver problemas complejos y mejorar nuestra comprensión del entorno que nos rodea.

Toda la información obtenida será esencial para la digitalización del trabajo en cuestión, el modelado de un puente, que contaría como modelo computacional y matemático con el fin de visualizar el comportamiento del puente propuesto.

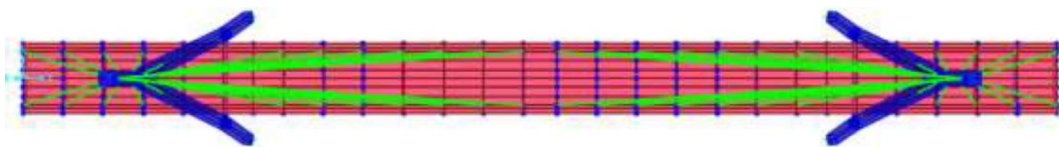




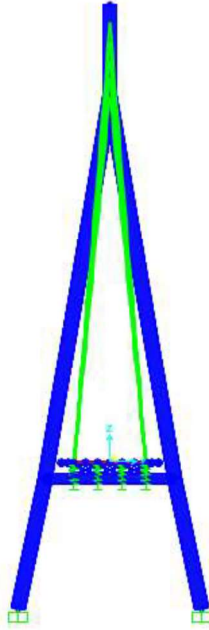
*Ilustración 7: Modelado de la Estructura del Puente – Visualización Standard (Autor).*



*Ilustración 8: Modelado de la Estructura - Elementos Extruidos (Autor).*



*Ilustración 9: Vista en Planta del Modelado de la Estructura (Autor).*



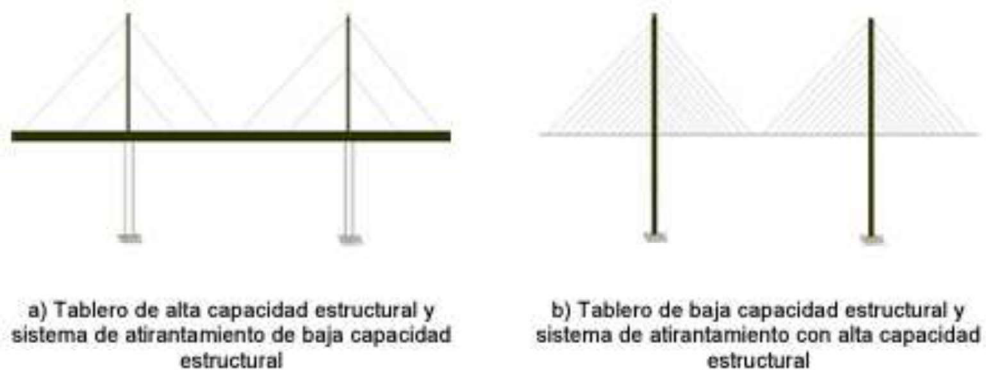
*Ilustración 10: Vista Frontal del Modelado de la Estructura (Autor).*

### **3.5.3 Pre-dimensionamiento.**

Todo lo que se ha estudiado en la primera fase de la investigación es lo que será adjunto en esta parte del capítulo. Para determinar las dimensiones iniciales del modelo escogido se han encontrado diversas fórmulas que son de gran utilidad para el prediseño del puente y acotaciones importantes para su diseño, con estas se ha delimitado el tamaño inicial de las torres, el sistema de distribución de tirantes, el tamaño de las vigas principales y el ancho del puente fue delimitado por el autor.

Varios de los datos iniciales se han obtenido mediante fórmulas de prediseño propuestas por Chio (2001), un autor que es representado en muchos estudios debido al alto impacto de sus investigaciones, este personaje se destaca por sus estudios en los puentes atirantados y los puentes extradados.

Francisco Javier Carrión menciona en su estudio hecho como aporte para el Instituto Mexicano del Transporte, llamado “Estudio Experimental de un Puente Atirantado. Evaluación de cables” muestra dos tipos generales como concepto básico de los puentes atirantados. Para el caso, se ha realizado la modelación en base al caso (b) que muestra un tablero de baja capacidad acompañado de un sistema de atirantamiento con alta capacidad estructural. (Carrión Viramontes et al., 2005)



*Ilustración 11: Concepto Básico de los Puentes Atirantados. (Francisco Javier Carrión)*

Además, el sistema de atirantamiento empleado es una distribución tipo abanico, el cual presenta un sistema de atirantamiento que inicia en la parte superior de la pila, lo que presenta un peso total menor a otros sistemas de atirantamiento, como el de arpa. La horizontal que se transmite de los tirantes al tablero es menor y en las pilas la flexión longitudinal se mantiene siempre moderada, también es importante mencionar que esta distribución aumenta la estabilidad contra los efectos de sismo. (Mendoza León, 2020)



*Ilustración 12: Distribución Tipo Abanico (Marisa Mendoza).*

El espaciamiento entre tirantes se maneja lo más regular posible en ambos lados de la torre para optimizar su desempeño, inclusive se recomienda que el mínimo ángulo entre el tirante y el eje de coordenadas X sean de  $35^\circ$ . (Mendoza León, 2020). Para el prediseño del puente se han situado 5 tirantes cada 6 metros en la luz más corta y en la luz principal 7 tirantes cada 6 metros, el primero partiendo a 9 metros de la torre.

Los tirantes de un puente atirantado, el torón específicamente usualmente posee medidas en pulgadas de  $5/8$  in, es decir 0.6 pulgadas, dentro de estos se encuentran los verdaderos cables que son los que se encargarán de resistir al puente, el catálogo de Freyssinet propone varias medidas, pero por conveniencia del caso se ha escogido el torón ya mencionado.

Tabla 1: Diámetro y características de torones (Freyssinet).

DIÁMETRO		CALIBRE (ASTM)	RUPTURA (kg)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (kg-m)
(Pulg)	(mm)				
3/8''	9.53	270 K	10438	0.55	0.43
7/16''	11.11	270 K	14070	0.75	0.590
1/2 ''	12.70	270 K	18745	0.99	0.777
0.6''	15.30	270 K	26600	1.47	1.160

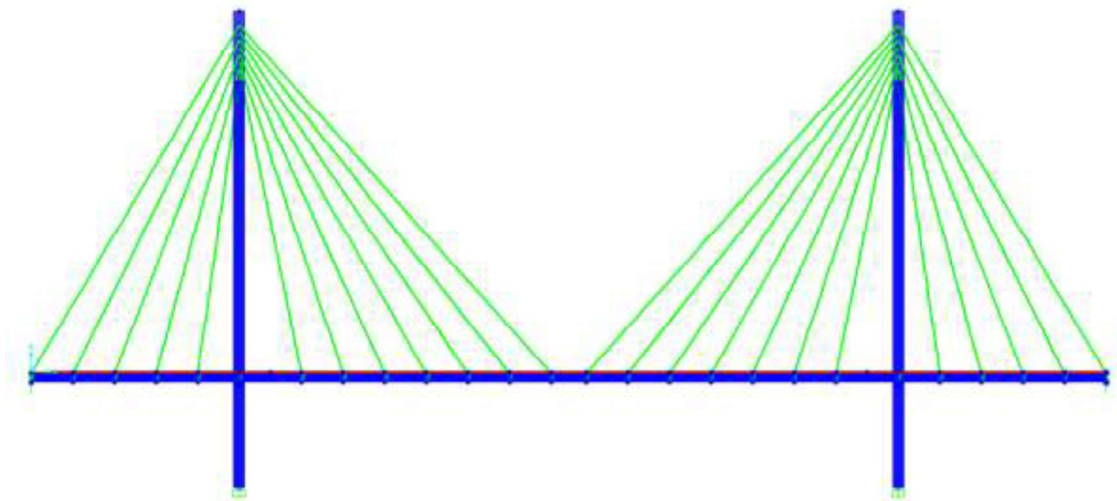


Ilustración 13: Sistema Atirantamiento Propuesto con Numeramiento de tirantes (Autor).

En cuanto a las torres, se conoce que son un elemento primordial en la estructura de un puente atirantado, poseen una rigidez muy elevada en compresión axial normalmente. Las formas de estas torres serán determinadas usualmente por el diseñador de la estructura, las más usadas en el mundo son en forma de triángulo, diamante o de una columna, existen muchas más como el de la Y invertida, como ha sido propuesto en este trabajo.

Este elemento es fundamental como ya se ha mencionado con anterioridad, deben poseer buena rigidez y aportar lo necesario al tirante para que este funcione correctamente, es por esta razón que un buen diseño de torres es primordial para llevar a cabo un proyecto de esta envergadura en cualquier sector del mundo.

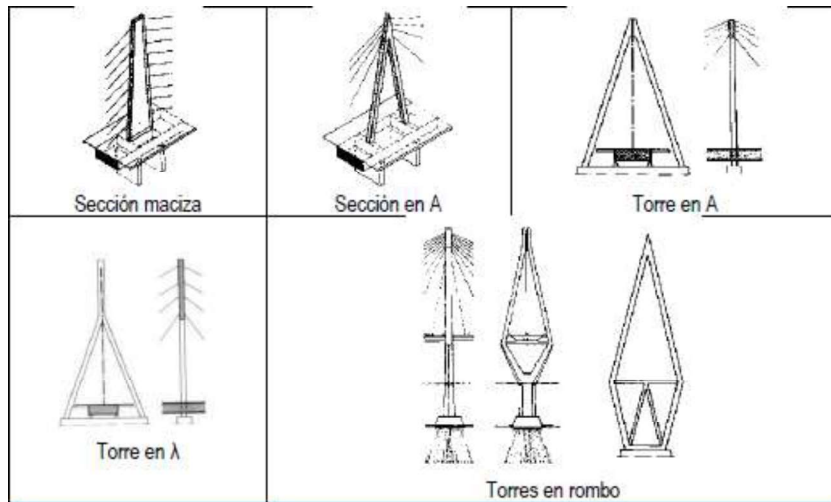


Ilustración 14: Tipos de Torres (Marisa Mendoza)

El tamaño inicial de las torres según Chio debe ser mayor a  $1/4$  o  $1/6$  de la luz del puente con el fin de que las tensiones de los cables no sean tan elevadas, es decir:

$$H_t \geq \frac{L}{4} \quad (1)$$

$$H_t \geq \frac{155}{4} = 38.75 \text{ m}$$

$$H_t \geq 38.75 \text{ m}$$

$$50 \geq 38.75 \text{ m}$$

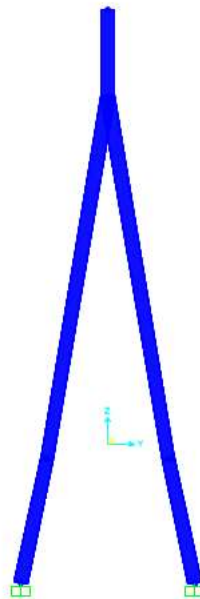


Ilustración 15: Vista de la torre (Autor).

El tablero no será tan esbelto, para este se usará la relación  $h/L > 1/600$ , dicha relación es expuesta en la tesis de grado de Marisa Mendoza con el tema “Análisis de un puente atirantado y parámetros de control durante su construcción” tratando de considerar a este elemento lo más flexible posible. (Mendoza León, 2020). Por lo que:

$$h_{\text{tablero}}/L \geq 1/600 \quad (2)$$

$$h_{\text{tablero}} \geq 155/600 = 0.25 \text{ m}$$

Para el caso además se plantea el uso de un tablero de concreto, el cual será diseñado con un peso específico de  $2400 \text{ Kg/m}^3$ , una resistencia a la compresión  $f'c = 320 \text{ Kg/cm}^2$  y un módulo de elasticidad definido por  $E = 15100 * \sqrt{f'c}$ .

Además, este estará propuesto sobre un eje recto - curvo hacia arriba, es decir, un eje recto en los vanos laterales (estribo – torre) y curvo en el vano principal (torre –torre), alzándose de esta manera 8 cm en el punto central del puente, esto con el fin de controlar mejor las deflexiones.

Los diafragmas están ubicados de manera que se conectan directamente con cada tirante y uno en el inicio y final del puente, obteniendo así 26 diafragmas, junto con esto las vigas también tienen prácticamente la mayoría una longitud de 6 m de manera que el diafragma, las vigas y el tirante conecten en un mismo punto. Como se menciona en el tema del trabajo, se ha establecido que ambos elementos sean metálicos.

### 3.5.3.1 Detalle de las secciones de los elementos.

Todos los elementos han sido asignados según el estudio exhaustivo de las características de este tipo de puentes para que el funcionamiento del modelo sea lo más óptimo posible. Aunque, mientras se lleva a cabo la alternativa se pueden realizar varios ajustes en las dimensiones de los mismos. A continuación, se mencionan las secciones empleadas para el desarrollo del trabajo:

- **Vigas Principales:** Es un elemento fundamental para la estabilidad y la resistencia del puente. En este modelo estructural la viga se presenta con el tipo de acero A572 Grado 50, con las dimensiones en el patín de 30 x 3 cm y en el alma de 140 x 2 cm como se representa a continuación:

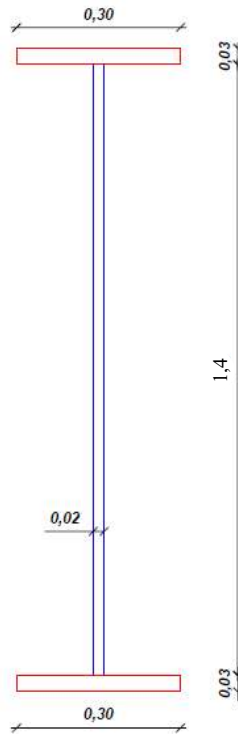


Ilustración 16: Detalle de Vigas Principales en metros (Autor)

- Tablero:** Es la plataforma que se extiende a lo largo del puente, esta permite que vehículos y personas crucen de un lado a otro. Ha sido propuesto como un elemento de concreto, el cual posee 155 m de luz (extensión del puente) y 10.5 m de ancho. Además, su dimensión es bastante delgada, debido al sistema de atirantamiento, solo posee 25 cm de espesor debido a que como se ha mencionado anteriormente el sistema de atirantamiento es el que se encargará de la mayoría de los esfuerzos, por lo que el tablero no necesariamente debe ser rígido, esta medida es tomada.

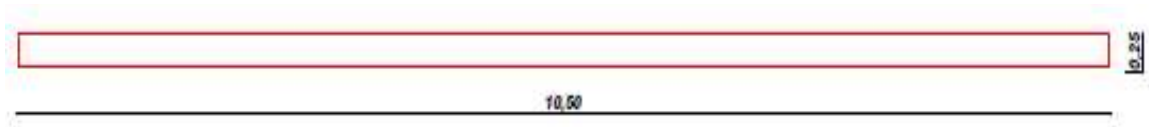
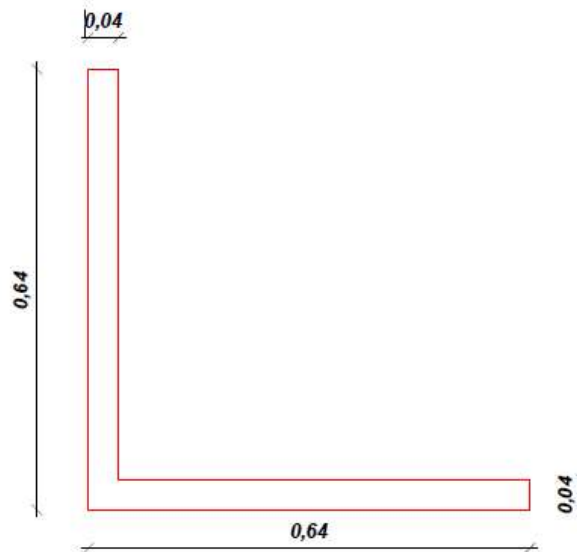


Ilustración 17: Detalle del Tablero en metros. (Autor)

- Diafragmas:** Este elemento proporciona estabilidad y rigidez lateral a la estructura del puente. Además, ayuda a prevenir la flexión y la torsión del mismo. La distribución de las mismas para mayor efectividad se debe situar de tal forma que la viga, el diafragma y el tirante conecten en un mismo punto. En este caso se

ha conformado el diafragma con ángulos simples de acero A36 Grado 36, con las siguientes medidas:



*Ilustración 18: Detalle del Diafragma en metros (Autor)*

Además, mencionar que el tipo del diafragma es llamado en inglés Chord and Brace, el cual hace alusión a la viga que soporta la carga y a los elementos que se utilizan con el fin de reforzar y estabilizar dichas vigas, en este caso con los ángulos, este tipo de diafragma solo se puede utilizar en puentes que poseen vigas tipo I, ya sean metálicas o de concreto.

En cuanto a los parámetros de la placa de conexión poseerá un acero A572 Grado 50 con un ancho de 150 mm y un espesor de 8 mm. Normalmente se espera que este elemento influya lo máximo posible en la estabilidad del puente ya que son un apoyo fundamental para las vigas principales que por la longitud del puente podrían pandearse con mucha facilidad.

- **Tirantes:** Los tirantes son el elemento característico de este tipo de puentes, encargado de transmitir las cargas a los pilares, estos elementos están tensados y sostienen el tablero del mismo. Estos elementos poseen diferentes diámetros, según su posición en el puente ya que todos tendrán solicitaciones diferentes, sus medidas se han escogido gracias a catálogos existentes.

El primer tirante es conocido como 9C15 y la mayoría de los tirantes se encuentran con la geometría de esta clase. Además, para los tirantes más cargados



se ha propuesto usar 12C15 y 13C15. Estos elementos son comerciables y sus características se encuentran en Freyssinet.

Tabla 2: Detalle de los elementos cable y sus características mismas unidades (Freyssinet).

Unidad de Anclaje	Diámetro		Área	#	Ruptura	Carga Máxima
3C15	0.6''	15.3	1.47	3	26600	79800
4C15	0.6''	15.3	1.47	4	26600	106400
7C15	0.6''	15.3	1.47	7	26600	186200
9C15	0.6''	15.3	1.47	9	26600	239400
12C15	0.6''	15.3	1.47	12	26600	319200
13C15	0.6''	15.3	1.47	15	26600	345800
19C15	0.6''	15.3	1.47	19	26600	505400
22C15	0.6''	15.3	1.47	22	26600	585200

A continuación, también se muestra los detalles en forma de gráfico como en los demás elementos con las medidas propuestas.

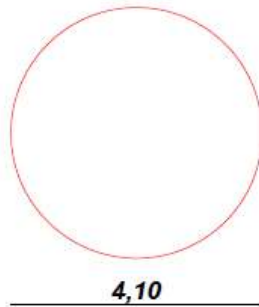


Ilustración 19: Detalle de tirante 9C15 en centímetros (Autor).

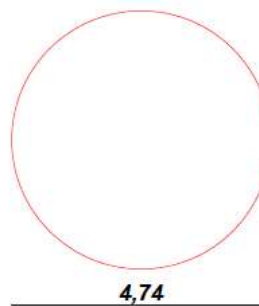
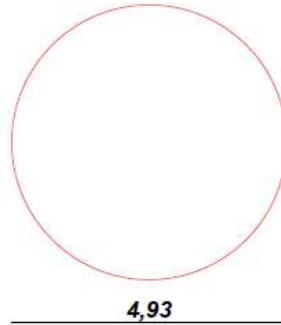
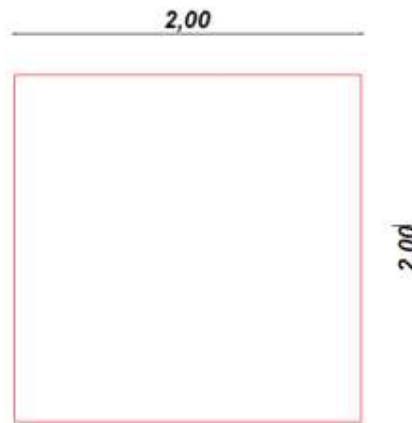


Ilustración 20: Detalle de Tirante 12C15 en centímetros (Autor).



*Ilustración 21: Detalle de Tirante 13C15 en centímetros (Autor).*

- **Torres:** Son la estructura vertical que soporta y mantiene a los tirantes en su posición. Como ya se ha mencionado, poseen una forma de Y invertida de 50 m, con dimensiones de 2 x 2 m en cuanto a ancho y largo del elemento.



*Ilustración 22: Detalle de las torres en metros (Autor).*

### 3.5.3.2 Otras características de la propuesta.

Además de las características mencionadas cabe mencionar ciertas acotaciones del trabajo para un mayor entendimiento de lo que se ha propuesto. Las torres se han considerado como si estuvieran empotradas, en la vida real cada una tuviera su propia zapata, pero dependiendo del estudio geotécnico esta podría variar en su forma y dimensiones, por ejemplo: se podría hacer una zapata para cada pata del pilar o unir ambas zapatas como una losa de cimentación, ambos casos agregando pilotes en ellas para mayor seguridad, es por esto que simplemente se ha considerado como empotramiento. En la viga que une a las torres, es decir, una viga transversal a las vigas principales se ha colocado neopreno de 120 ton/m<sup>2</sup> de rigidez lateral para que se apoyen las vigas principales.

En los extremos del puente se ha situado un apoyo fijo al inicio y un apoyo móvil al final como indica la teoría más básica del diseño de puentes, sobre estos dos puntos también se ha asignado un diafragma.

### 3.5.3.3 Distribución de Cargas.

Para llevar a cabo la distribución de cargas que será empleada en la propuesta, se asumirán valores de carga acordes a las normas AASHTO LRFD. Sobre el puente se han establecido diferentes cargas como veredas, barandas, peatones, asfalto, etc.

- **Veredas:** Se ha establecido que la vereda se represente como una losa alivianada y su peso ha sido analizado según los datos de Aceros Arequipa gracias a su manual llamado “Manual del Maestro Constructor” en el cual se especifican algunos valores de carga según el espesor de la losa, por lo tanto, el valor será de 280 kg/m<sup>2</sup>. (Aceros Arequipa, n.d.)

Espesor de losa (cm)	kg/m <sup>2</sup>
17	270
20	300
25	350
30	400

Ilustración 23: Detalle de cargas losas alivianadas (Aceros Arequipa)

- **Barandas:** Las barandas han sido asignadas como carga lineal y según la revista latinoamericana Vial posee valores entre 400 - 600 kg/m, por ello se ha usado 550 kg/m para el diseño.
- **Asfalto:** El asfalto posee un peso específico igual a 2.25 Ton/m<sup>3</sup> y un espesor de 2,5 in, obteniendo así una carga de 114 kg/m<sup>2</sup> en ambos lados.
- **Peatonal:** La carga peatonal según la AASHTO (Art. 3.6.1.6) en veredas mayores a 0.60 m se usará una carga peatonal de 366 kg/m<sup>2</sup>. (Rodriguez Serquen, 2020)

### 3.5.4 Análisis del Comportamiento de la Estructura.

#### 3.5.4.1 Análisis Dinámico Espectral.

Para el modelo que se plantea se requiere de un análisis dinámico espectral, es decir, se usará el espectro sísmico de respuesta elástico en aceleraciones el cual debe ser

desarrollado según las características del entorno en base a los datos de la NEC de Peligro Sísmico en la que se explica cómo construir dicho espectro.

Dicho espectro generado se conoce como espectro elástico de respuesta, indica el valor máximo absoluto de aceleración durante la vibración de la estructura y para su elaboración como ya se ha mencionado se han utilizado las normas NEC (capítulo 3 del libro Peligro Sísmico), este punto es muy importante para el conocimiento del comportamiento la estructura.

Se inicia determinando la zona, y sus características, la NEC ya proporciona cierta información para algunos sectores, la parroquia La Iberia no se encuentra en esta base de datos por lo que se ha utilizado de la ciudad de Machala como base para sus características por la cercanía entre los dos puntos.

En estructuras de uso común, se emplea el parámetro denominado "zonificación sísmica" y el factor de zona  $Z$ , que representa la máxima aceleración en una superficie de roca prevista para el sismo de diseño. Este valor se expresa como una fracción de la aceleración debida a la gravedad. Para la zona especificada se tiene un  $Z = 0.4$  y un tipo de suelo D. (NEC, 2014)

Con estos valores iniciales se extraerán los valores de coeficientes  $F_a$ ,  $F_s$  y  $F_d$ , finalmente, empleando las fórmulas que proporciona dicha norma se genera el espectro. A continuación, se mostrarán dichos valores y fórmulas:

Tabla 3: Valores para el Espectro Elástico. (Autor)

$Z$	0.4
$F_a$	1.2
$F_d$	1.19
$F_s$	1.28
$\eta$	1.8

Para un mayor entendimiento de los datos mostrados, visualizar el origen de los mismos en el Anexo 2.

- $\eta$  => Razón entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T = 0.1$  s) y el PGA para el período de retorno seleccionado. Para toda la costa en general, excepto Esmeraldas este valor es igual a 1.8.

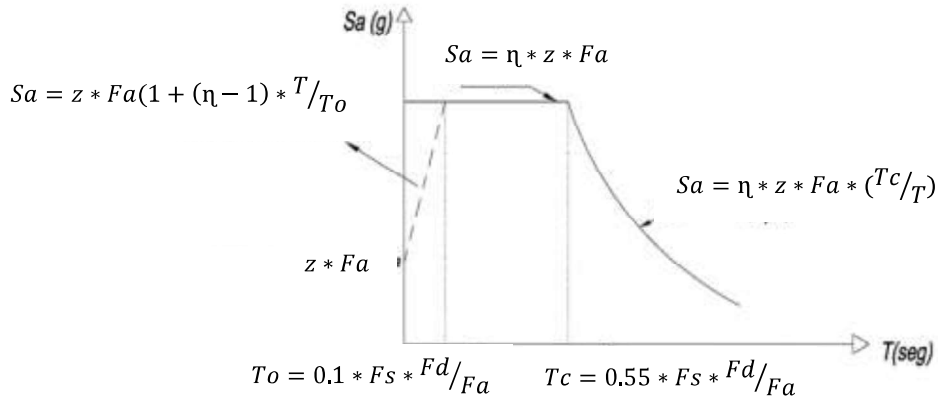


Ilustración 24: Gráfica Espectro Elástico (NEC Peligro Sísmico).

Con los valores obtenidos y las fórmulas planteadas el espectro que se ha obtenido es el siguiente:

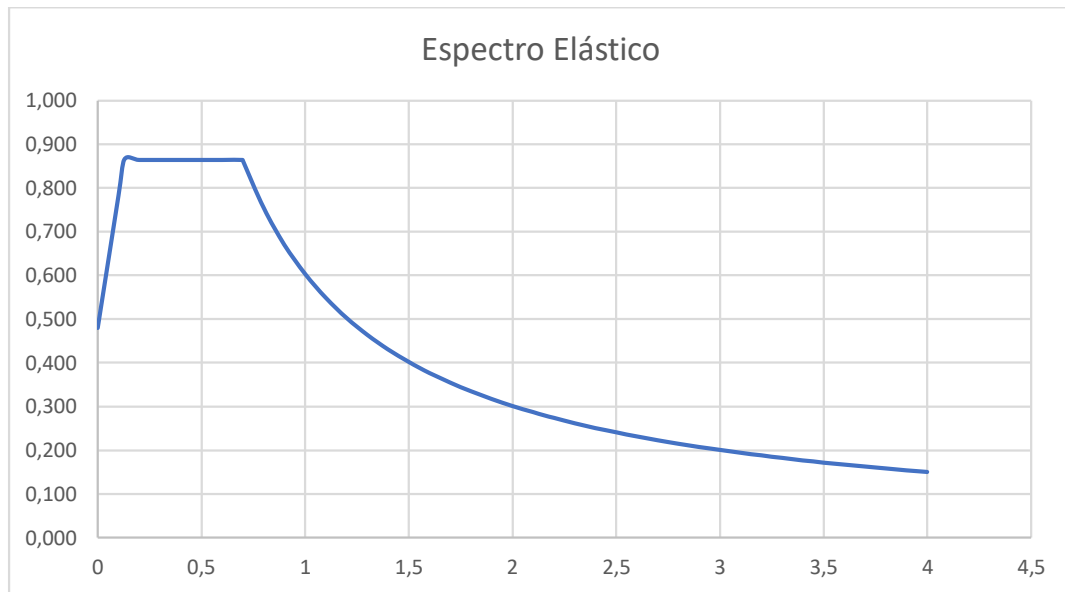


Ilustración 25: Espectro de Respuesta Elástico (Autor).

Este espectro se usará en el modelo planteado con el fin de conocer el comportamiento de la estructura ante los efectos que produce dicho espectro, la razón por la que se usa este tipo de espectro elástico es porque es más crítico.

### 3.5.4.2 Modelo Equivalente.

El modelo equivalente se refiere a una representación simplificada de una estructura compleja que conserva las propiedades de carga y respuesta de la estructura original. El tipo de modelo equivalente a utilizar depende de la naturaleza de la estructura y el tipo de análisis que se va a realizar. (Gonzalez Carceles, 1990)

Estos modelos simplificados permiten realizar cálculos más manejables y comprensibles sin perder de vista las características esenciales de la estructura. Esta se lleva a cabo para conocer de mejor manera las fuerzas que recaen sobre algún elemento, es usado para ajustarlos y así poseer un modelo pertinente con características más completas. (Flores Flores, 2017)

En este caso se plantea un modelo equivalente del puente real en cuestión con una losa que poseerá la misma carga que el puente real pero solo usando a dicho elemento. Esto con el fin de obtener las tensiones de los tirantes, ya que en el modelo real no están colocadas, es decir que se ajustará dicho elemento con lo que se obtenga del modelo equivalente.

### **3.6 Métodos Empíricos con los Materiales Utilizados.**

Se llevarán a cabo mediciones y otras observaciones en el puente existente para verificar el estado del mismo y determinar las características iniciales como lo es la luz y el ancho con el propósito de proponer una alternativa pertinente en cuanto a dimensiones. Se identificarán las características generales del puente para poder llevar a cabo el modelado con medidas exactas.

## 4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

### 4.1 Análisis de Resultados.

Ahora que ya se han planteado las características del modelo en cuestión y presentar los análisis respectivos que se efectuarán, a continuación, se exponen los resultados obtenidos gracias a los análisis efectuados sobre el modelo matemático propuesto.

#### 4.1.1 Análisis Modal.

Lo primero ha sido realizar un análisis modal de la estructura para conocer los períodos que se estaban dando y verificar que el porcentaje de masa cumplía con las recomendaciones llegando a 0.9 (90%) en sus 3 direcciones como lo dice la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

La alternativa posee un largo de 155 metros y 10.5 metros de ancho, cuenta con dos torres de 50 metros en forma de Y invertida y un sistema de atirantamiento que dispone de 48 tirantes en total. El tablero y las vigas poseen un alto de 25 cm y 1.46 m. Estas características hacen que sea un puente considerablemente alto por lo que verificar este apartado es relevante para reconocer su estabilidad. Se emplearon 24 modos de vibración, estos teniendo relación a los 3 grados de libertad que se reconocen en cualquier tipo de estructura.

Tabla 4: Períodos y Participación de masas de la Estructura. (Autor).

Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0,9820	0,0000	0,2808	0,0000	0,2808	0,0045	0,0045
2	0,9201	0,0000	0,0000	0,0000	0,2808	0,0000	0,0045
3	0,6978	0,3885	0,0000	0,3886	0,2808	0,0000	0,0045
4	0,4465	0,0002	0,0000	0,3888	0,2808	0,0000	0,0045
5	0,4354	0,0000	0,3472	0,3888	0,6280	0,0003	0,0047
6	0,4328	0,0000	0,0000	0,3888	0,6280	0,3350	0,3398
7	0,3793	0,0070	0,0000	0,3958	0,6280	0,0000	0,3398
8	0,3723	0,0000	0,0132	0,3958	0,6412	0,1336	0,4734
9	0,3595	0,0000	0,0025	0,3958	0,6438	0,0572	0,5306
10	0,2743	0,0000	0,0009	0,3958	0,6447	0,0525	0,5831
11	0,2437	0,0011	0,0000	0,3969	0,6447	0,0000	0,5831

12	0,2254	0,0000	0,0038	0,3969	0,6484	0,0006	0,5837
13	0,1722	0,2231	0,0000	0,6201	0,6484	0,0000	0,5837
14	0,1678	0,0000	0,0459	0,6201	0,6943	0,0028	0,5866
15	0,1517	0,0249	0,0000	0,6450	0,6943	0,0000	0,5866
16	0,1491	0,0000	0,0021	0,6450	0,6964	0,0011	0,5877
17	0,1384	0,0072	0,0000	0,6522	0,6964	0,0000	0,5877
18	0,1384	0,2791	0,0000	0,9313	0,6964	0,0000	0,5877
19	0,1344	0,0000	0,0418	0,9313	0,7382	0,2379	0,8256
20	0,1344	0,0000	0,2303	0,9313	0,9685	0,0432	0,8688
21	0,1301	0,0000	0,0000	0,9313	0,9685	0,0037	0,8725
22	0,1301	0,0000	0,0000	0,9313	0,9685	0,0037	0,8762
23	0,1116	0,0000	0,0004	0,9313	0,9688	0,0784	0,9546
24	0,1089	0,0005	0,0000	0,9318	0,9688	0,0000	0,9546

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior, se puede denotar que el período fundamental de vibración de “Y” se da en el modo 1 con un valor de 0.982 s, y en la dirección “X” se presenta en el modo 3 con un valor de 0.698 s. Esto indica que dichos modos son de movimiento traslacional. Se empieza a ver una intervención considerable de la torsión en el modo de vibración número 6, con un periodo de 0.433 s.

Gracias a los valores adjuntos en la tabla, también se logra observar que la participación de masa cumple con el requerimiento de la NEC para este tipo de análisis de llegar al 90% de participación de masa; la primera dirección en satisfacer dicho requerimiento es en “X” en el modo 18, seguido de la dirección “Y” en el modo 20 y finalmente la torsión cumpliendo en el modo 23.

#### 4.1.2 Tensiones en los Cables.

Inicialmente, el modelo contaba con cables propuestos como de longitudes indeformables debido a que a estos hay que encontrarle las tensiones requeridas. Para ello se ha planteado al modelo únicamente con las cargas muertas, es decir, todo lo que involucra a DW y a DC (el asfalto, las barandas, las veredas y el peso de los elementos).

Con estos datos el modelo muestra las tensiones que poseen todos los tirantes, pero al ser una obra simétrica, los datos que se encuentran de un lado del puente se replican del otro, por ende, las tensiones se repiten para cada juego de cables que llega a las torres. También



los valores en cada tirante que concurra con un mismo diafragma son simétricos, es decir que estas tensiones también serán las mismas.

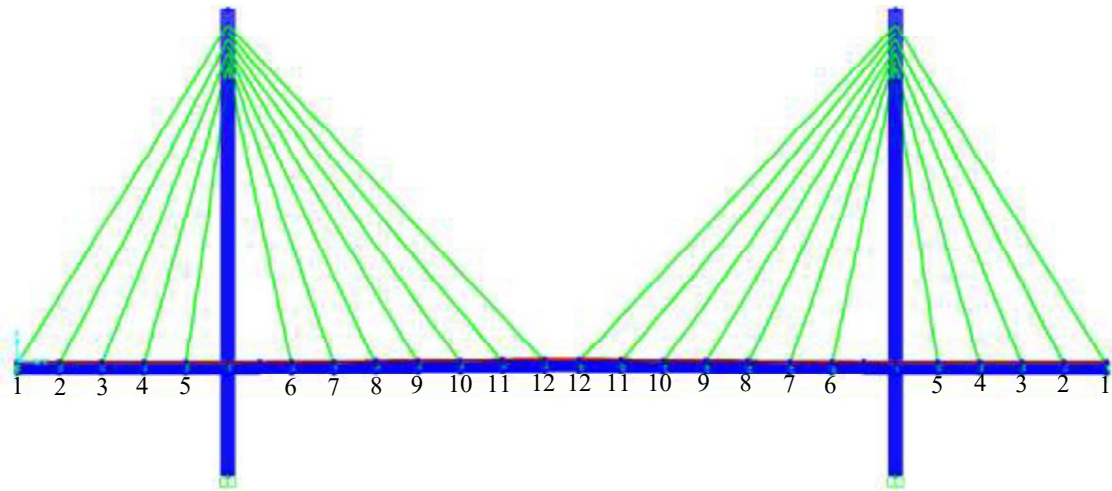


Ilustración 26: Numeración de tirantes. (Autor).

Una vez enumerado el sistema se obtienen los siguientes resultados de tensiones, además se adjuntará la deformación que puede llegar a tener dicho cable, mostrado en algunas bases teóricas como el Sag.

Tabla 5: Tensiones en los Tirantes. (Autor)

#	Tensión (tonf)
1	215
2	181
3	115
4	113
5	150
6	120
7	150
8	175

9	200
10	230
11	300
12	369

Según la tabla anterior, la tensión máxima la posee el tirante número 12 con una tensión igual a 369 tonf, el cual se conoce es un cable 13C15; denotar de igual manera que la tensión más baja se encuentra en el tirante número 4 con un valor de 113 tonf, el cual es un tirante tipo 9C15. A partir de este punto, situando las tensiones en los cables directamente en el modelo se puede obtener el ya mencionado Sag, cuyos resultados serán presentados en la siguiente tabla:

*Tabla 6: Sag (Autor).*

#	Tensión (tonf)	Sag (cm)
1	215	2.59
2	181	2.60
3	115	2.58
4	113	2.22
5	150	1.49
6	120	2.02
7	150	1.81
8	175	1.77
9	200	1.78
10	230	1.80
11	300	2.13

12	369	2.18
----	-----	------

Estos valores mostrados no pueden ser menores que 0.5 cm, y por lo que se puede observar en la tabla anterior, efectivamente no hay ninguno menor a este valor. El Sag más pequeño se encuentra en tirante número 5 con un valor de 1.49 cm, por lo que se puede apreciar que todos los valores hallados sirven en el sistema propuesto.

#### 4.1.3 Análisis por Estado Límite – Servicio IV.

Ya efectuados estos dos apartados iniciales, se empieza con los análisis y la observación del comportamiento del puente ante estos. Se conoce que según Chio un puente no puede deformarse más que la longitud del vano principal sobre 400 o 600 (datos en metros).

$$\varphi \leq L_{vp}/400$$

$$\varphi \leq 95/400$$

$$\varphi \leq 0.24 \text{ m}$$

$$\text{Deformación máxima} = \varphi \text{ max} = 24 \text{ cm}$$

Iniciando con la participación únicamente de las cargas muertas (DC + DW) que también es conocido como estado límite de Servicio IV, se observa el pandeo del tablero.

Tabla 7: Deformaciones en Tablero - Servicio IV.

Estación (m)	Deformación (cm)
0	0
6	-1.67
12	-3.35
18	-5.02
24	-6.69

30	-8.31
39	-10.41
45	-11,67
51	-12,81
57	-13.81
63	-14.62
69	-15.18
75	-15.45

$$\varphi_{SIV} = -15.45 \text{ cm}$$

La deformación del tablero en este punto es igual 15.45 cm hacia abajo, lo cual en términos generales es un valor bastante elevado, usualmente se recomienda en este apartado llegar a los 10 cm o 12 cm como máximo, no obstante, la deflexión que sufre el tablero se encuentra inferior al valor máximo calculado por lo que presenta a un modelo capaz de resistir correctamente a las cargas muertas que se sobrellevan en el diseño, pasando de esta manera dicha verificación.

Con los resultados de la tabla anterior se obtiene la siguiente gráfica en cm sabiendo que los valores de la otra mitad son exactamente los mismos como espejo:

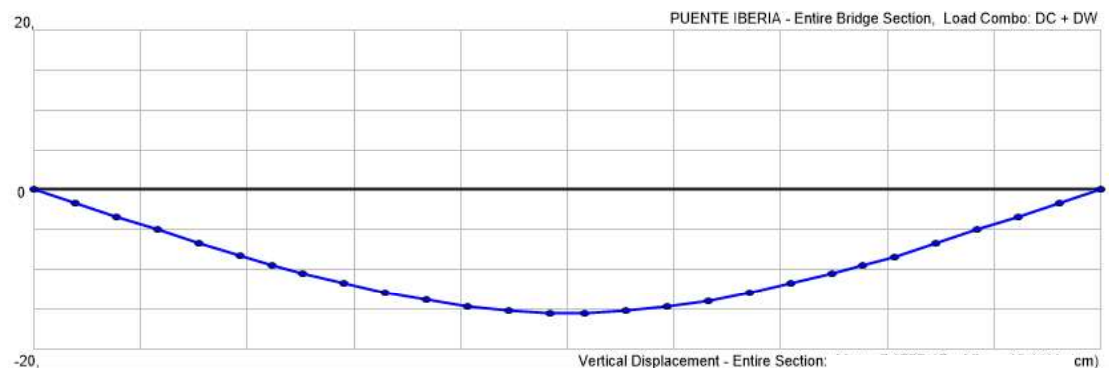


Ilustración 27: Gráfica Deformaciones por Servicio IV (Autor).

#### 4.1.4 Análisis por Estado Límite – Fatiga I.

Luego de corroborar que el estado límite de servicio IV es cumplido con autoridad, se procede a realizar el mismo procedimiento, pero únicamente con cargas vivas, es decir, la carga de vehículo (camión + tándem) y la carga peatonal. Obteniendo los siguientes resultados:

*Tabla 8: Deformaciones en Tablero - Fatiga I. (Autor).*

<b>Estación (m)</b>	<b>Deformación (cm)</b>
0	0
6	-0.11
12	-0.24
18	-0.40
24	-0.60
30	-0.82
39	-1.14
45	-1.35
51	-1.53
57	-1.67
63	-1.77
69	-1.83
75	-1.86

Siempre la estación a 75 metros será la que mayor deformación tenga debido a que es la más cercana al punto central. El valor que se obtenga de esta tabla debe ser escogido por ser el mayor en valor absoluto, es decir, -1.86 cm.

$$\varphi = -1.86 \text{ cm}$$

Se puede observar que el desplazamiento del tablero en el eje vertical usando el estado límite de fatiga I es a duras penas 1.86 cm hacia abajo. Nuevamente, se encuentra por debajo de la deformación máxima, e inclusive es menor a la hallada en Servicio IV, pero esto es lo usual, sirve para comprobar que las cargas dentro del modelo están bien distribuidas y por ello el comportamiento de la estructura es el esperado.

A continuación, se presenta la gráfica de los respectivos valores de deformación en cm:

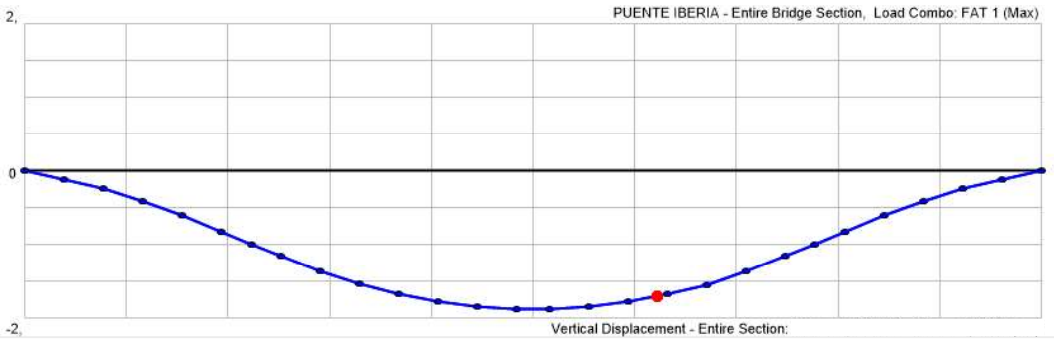


Ilustración 28: Gráfica Deformaciones por Fatiga I (Autor).

#### 4.1.5 Análisis por Estado Límite – Servicio I.

En este punto se presentará un análisis con la participación de todas las cargas propuestas en su totalidad, ya que individualmente han sido verificadas y cumplen con el máximo calculado. Entonces, los datos generados son:

Tabla 9: Deformaciones en Tablero - Servicio I. (Autor).

Estación (m)	Deformación (cm)
0	0
6	-1.75
12	-3.5

18	-5.00
24	-7.03
30	-8.70
39	-11.00
45	-12.30
51	-13.68
57	-14.75
63	-15.62
69	-16.00
75	-16.51

La deformación obtenida en este estado límite es de -16.51 cm, es decir, que con el 100% de las cargas, el puente funciona correctamente sin sobrepasar el desplazamiento vertical máximo que se propone por la fórmula de Chio.

$$\varphi = -16.51 \text{ cm}$$

Es decir, el tablero se pandeará 16.51 cm hacia abajo, lo cual no es ningún problema ya que se sigue respetando el margen, al ser un puente de gran longitud, el mayor problema que se puede encontrar es este, la deflexión de vigas y tablero.

La gráfica correspondiente a estos valores en cm es la siguiente:

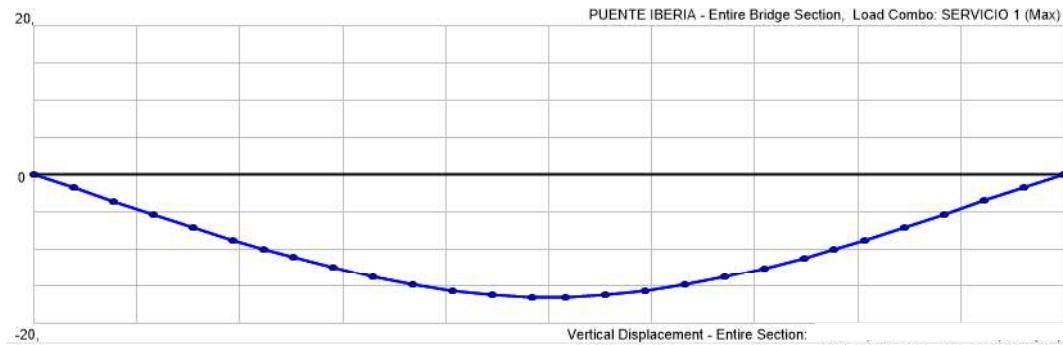


Ilustración 29: Gráfica de Deformaciones por Servicio I (Autor).

#### 4.1.6 Análisis por Estado Límite – Resistencia I.

Finalmente, al haber sobrellevado los 3 análisis anteriores se presenta el estado límite de resistencia I, el cual es el que más carga involucra ya que las incrementa al multiplicarlas por un factor de escala, de esta manera se compromete a la estructura porque recibe más del 100% de la carga. Por ello, los valores de deformaciones se verán en aumento, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10: Deformaciones en Tablero - Resistencia I. (Autor).

Estación (m)	Deformación (cm)
0	0
6	-2.24
12	-4.50
18	-6.80
24	-9.12
30	-11.41
39	-14.40
45	-16.22
51	-17.86



57	-19.28
63	-20.40
69	-21.00
75	-21.55

Los valores en Resistencia I se han visto aumentados por las razones que ya se han mencionado, aun así, se ha conseguido una deformación de -21.55 cm, es decir, que el resultado del caso más crítico sigue sin superar a la deformación máxima que era de 24 cm.

$$\varphi = -21.55 \text{ cm}$$

La estructura presenta una deformación de 21.55 cm hacia abajo, en términos generales, esta deformación es considerable, pero para los parámetros en los que trabaja este proyecto, el resultado es aceptable. Junto a esto, se adjunta el gráfico en cm de las deformaciones de este último estado límite:

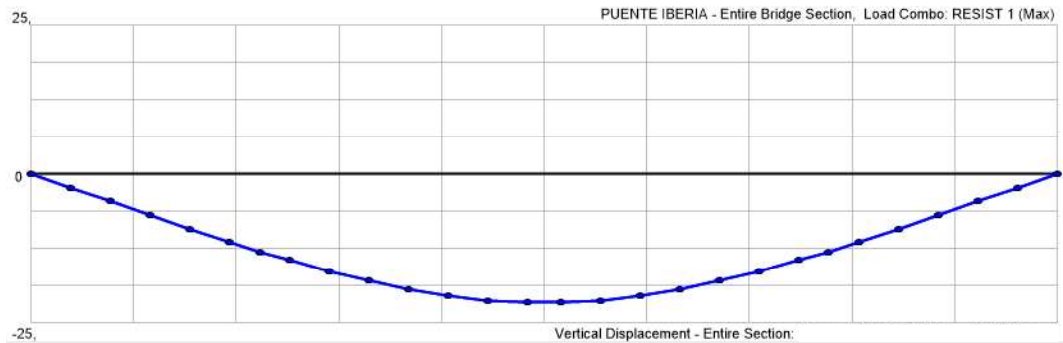


Ilustración 30: Gráfica de Deformaciones por Resistencia I (Autor).

#### 4.1.6 Dimensionamiento Final de Elementos.

##### 4.1.6.1 Tablero.

El tablero posee 25 cm de espesor y como se ha mencionado con anterioridad se extiende en los 155 metros de luz que debe tener el puente con 10.5 metros de ancho. Planteado con un hormigón de peso específico igual a 2.4 Tonf/m y una resistencia a la compresión de 320 kg/cm<sup>2</sup>, su módulo de elasticidad está definido por:  $15100 * \sqrt{f'c}$ .

Tabla 11: Características del Hormigón del Tablero.

$\gamma$	2.4 T/m
$f_c$	320 kg/cm <sup>2</sup>
E	2701170,1 T/m <sup>2</sup>

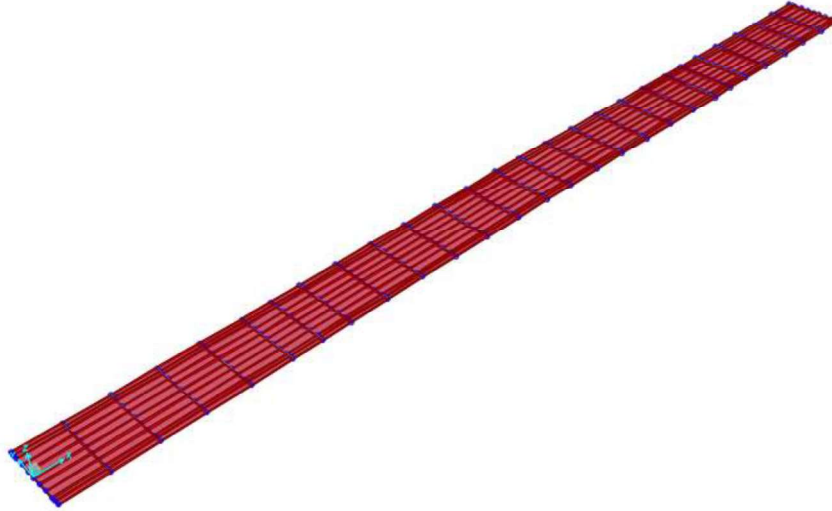


Ilustración 31: Tablero - Vista 3D (Autor)

#### 4.1.6.2 Vigas Principales.

La viga principal planteada con una longitud de 6 metros en el modelo para poder conectar la unión entre el diafragma y el tirante, es una viga tipo I simétrica, una sección muy utilizada en estructuras. Sus dimensiones vienen dadas en la siguiente tabla de forma ancho - espesor:

Tabla 12: Dimensiones de la Viga Principal. (Autor)

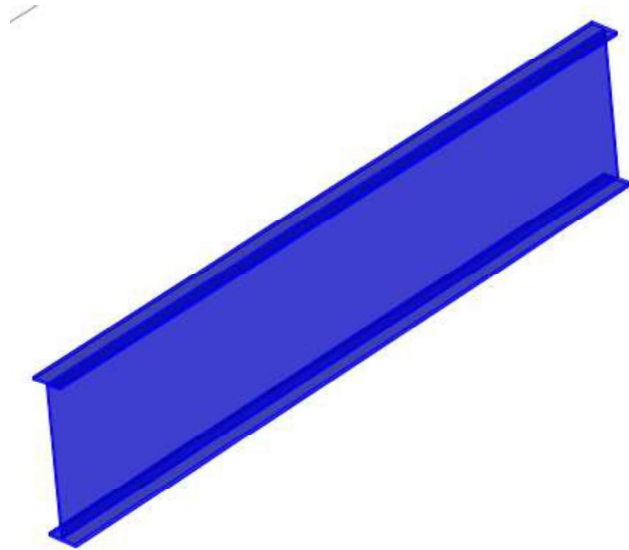
Elemento	Valor (cm)	
Patín	30	3
Alma	2	140

Fabricada de acero A572 Gr 50, con características:

Tabla 13: Características del Acero A572 Gr 50. (Autor)

$\gamma$	7.85 T/m
----------	----------

$f'c$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
E	21414041 T/m <sup>2</sup>
Poisson	0.3



*Ilustración 32: Viga Principal - Vista 3D (Autor).*

#### 4.1.6.3 Diafragmas.

Los diafragmas han sido un elemento imprescindible, se conectan tres ángulos simples simétricos a lo largo para formar un solo diafragma. Poseen un ancho final de 7.9 metros, a continuación, una representación de los datos del diafragma:

*Tabla 14: Detalle del Ángulo simple (Autor).*

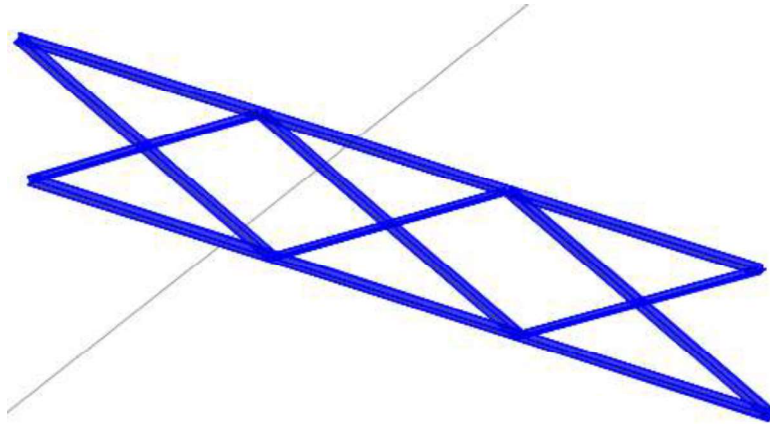
Elemento	Valor (cm)
Longitud Vertical	64
Espesor	0,435

Fabricada de acero A36 Gr 36, con características:

*Tabla 15: Características del Acero A36 Gr 36 (Autor).*

$\gamma$	7.85 T/m
----------	----------

$f_c$	2550 kg/cm <sup>2</sup>
E	20394325 T/m <sup>2</sup>
Poisson	0.28



*Ilustración 33: Diafragmas - Vista 3D (Autor).*

#### **4.1.6.4 Pilonos.**

Los pilonos finalmente poseen 50 metros de alto en forma de Y invertida, también ha sido planteado con el concreto de 320 kg/cm<sup>2</sup>, y posee unas dimensiones de 2 x 2 metros en referencia al largo – ancho. Los últimos 10 metros de la torre son para la conexión con los tirantes.

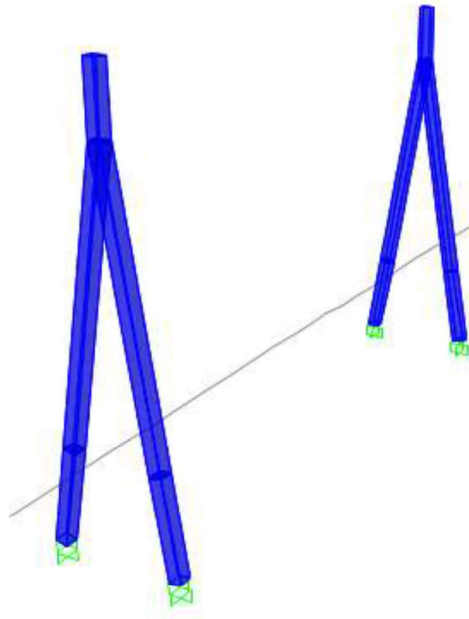


Ilustración 34: Juego de Torres (Autor).

#### 4.1.6.5 Vigas de torre.

Las vigas de torre poseen un neopreno para que se asiente la viga principal y de esta manera también ayudar en la estabilización del puente. Poseen las siguientes dimensiones de manera ancho - espesor:

Elemento	Valor (cm)	
Patín	30	3
Alma	3	125

Este elemento también posee las características del acero A572 Gr 50.

#### 4.1.6.6 Tirantes.

Los tirantes utilizados en el modelo son 13C15, 12C15 y 9C15, extraídos de un catálogo de Freyssinet, sus medidas y características han sido planteadas anteriormente, faltaba mencionar que el acero que cubre al grupo de cables tiene un  $f_y$  igual a 18 T/cm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad equivalente a 2040 T/cm<sup>2</sup>, el peso específico es igual al de los demás aceros. Se rigen por la siguiente distribución:

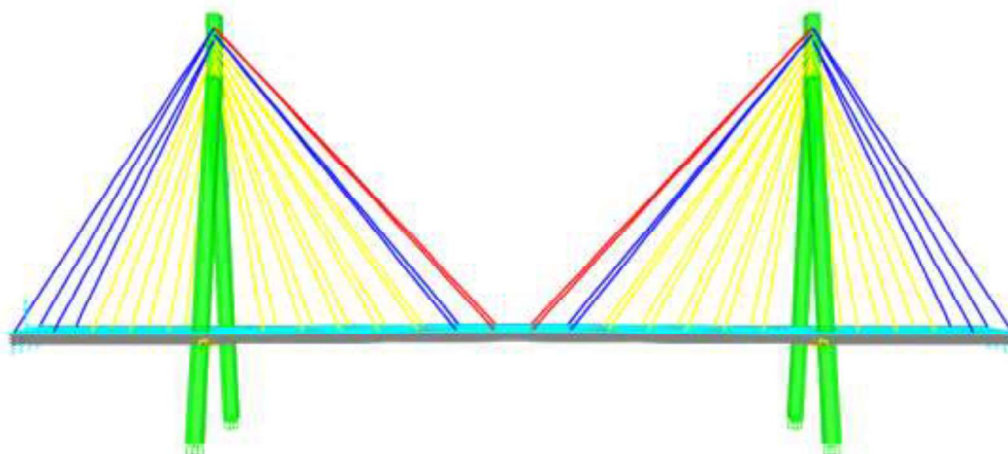


Ilustración 35: Distribución de Tirantes - Por tipo (Autor).

El gráfico anterior se rige según los colores:

Tabla 16: Clasificación Tirantes por Colores (Autor).

9C15	Amarillo
12C15	Azul
13C15	Rojo

## 4.2 Interpretación de Datos.

Luego de realizar todos los análisis respectivos y poseer los resultados respectivos de los estados límite ejecutados y el análisis modal, se puede realizar una interpretación final de cada conjunto de datos adquirido.

### 4.2.1 Análisis Modal.

El análisis modal ha presentado datos de período importantes que destacan de cierta manera el comportamiento del puente, con esto, se hace referencia al período fundamental, que llega redondeado a 1 segundo. De alguna manera, esto representa a breves rasgos el funcionamiento de la estructura, ya que subjetivamente puede indicar que es una obra estable al no poseer un valor menor a 0.5, por lo que la estructura a la hora de vibrar no representa un mal resultado. Se conoce que, dependiendo del tamaño del puente se obtendrán valores mayores o menores en el período de vibración.

Tabla 17: Tabla Resumen del Análisis Modal. (Autor)

Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0,9820	0,0000	0,2808	0,0000	0,2808	0,0045	0,0045
3	0,6978	0,3885	0,0000	0,3886	0,2808	0,0000	0,0045
6	0,4328	0,0000	0,0000	0,3888	0,6280	0,3350	0,3398
18	0,1384	0,2791	0,0000	0,9313	0,6964	0,0000	0,5877
19	0,1344	0,0000	0,0418	0,9313	0,7382	0,2379	0,8256
20	0,1344	0,0000	0,2303	0,9313	0,9685	0,0432	0,8688
21	0,1301	0,0000	0,0000	0,9313	0,9685	0,0037	0,8725
22	0,1301	0,0000	0,0000	0,9313	0,9685	0,0037	0,8762
23	0,1116	0,0000	0,0004	0,9313	0,9688	0,0784	0,9546
24	0,1089	0,0005	0,0000	0,9318	0,9688	0,0000	0,9546

Los resultados del análisis modal muestran que la estructura está realizando un buen comportamiento debido a que el porcentaje de masas de los 3 apartados llega a superar el 90% estipulado por la NEC. Esto demuestra que los elementos están bien conectados y el modelo se está desarrollando bien.

#### 4.2.2 Análisis de Tensiones en Cables.

Las tensiones en los cables es un apartado fundamental de este trabajo, se ha dedicado mucho tiempo a hallar de buena manera estos datos que son necesarios para dar a entender al modelo matemático que los cables están tensionados a tales valores, lo que permite que las deformaciones de los mismos sean mínimos, sin superar en ningún caso los 3 cm.

Tabla 18: Resumen del Análisis de Tensiones (Autor).

#	Tipo	Tensión (tonf)	Sag (cm)
1	12C15	215	2.59
2	12C15	181	2.60
3	9C15	115	2.58
4	9C15	113	2.22

5	9C15	150	1.49
6	9C15	120	2.02
7	9C15	150	1.81
8	9C15	175	1.77
9	9C15	200	1.78
10	9C15	230	1.80
11	12C15	300	2.13
12	13C15	369	2.18

Los torones más tensionados son aquellos que poseen una mayor cantidad de cables en sí, es decir su tipo es mayor, en este caso los tirantes con mayores tensiones son el número 11 y 12 que casualmente son los que se encuentran más inclinados al estar anclados más lejos de la torre. Esto representa un comportamiento normal en el puente, ya que, según estudios experimentales, se ha hallado este tipo de tensionados, dónde, la luz mayor es la que posee el tirante más cargado.

#### 4.2.3 Análisis por Estados Límite.

Según los estados límite propuestos en este trabajo se puede denotar que el pandeo del puente está perfectamente moderado, ya que, en ninguno, se sobrepasa la deformación máxima que es equivalente a 24 cm.

Estación (m)	Deformación Servicio IV (cm)	Deformación Fatiga I (cm)	Deformación Servicio I (cm)	Deformación Resistencia I (cm)
0	0	0	0	0
6	-1.67	-0.11	-1.75	-2.24
12	-3.35	-0.24	-3.5	-4.50



18	-5.02	-0.40	-5.00	-6.80
24	-6.69	-0.60	-7.03	-9.12
30	-8.31	-0.82	-8.70	-11.41
39	-10.41	-1.14	-11.00	-14.40
45	-11,67	-1.35	-12.30	-16.22
51	-12,81	-1.53	-13.68	-17.86
57	-13.81	-1.67	-14.75	-19.28
63	-14.62	-1.77	-15.62	-20.40
69	-15.18	-1.83	-16.00	-21.00
<b>75</b>	<b>-15.45</b>	<b>-1.86</b>	<b>-16.51</b>	<b>-21.55</b>

Los resultados finales de cada estado límite muestra la deflexión en cada uno de los casos, es decir, el comportamiento de la estructura en cuanto a desplazamientos verticales, al ser un puente atirantado se sufre mucho en este tipo de verificaciones. Satisfactoriamente los elementos asignados en el modelo han trabajado bien conjuntamente, por ello las deformaciones que aparecen no superan en ningún caso a la planteada gracias a Chio, o sea, 24 cm. El estado límite que más podía derrumbar este aspecto es el de Resistencia I, sin embargo, la estructura se ha mantenido.

Los resultados que se han obtenido durante todo el trabajo han sido pertinentes para el entendimiento del estado de la estructura y sus fallas, si es que existen. Todo ha sido de gran ayuda para poder plantear un modelo que sea estable y se adecue a lo propuesto en el tema de este trabajo de titulación.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1 Conclusiones.**

El modelo matemático elaborado ha sido capaz de hallar correctamente las tensiones como se hubiera hecho con el modelo equivalente, los tirantes han presentado las diferentes tensiones a las que han tenido que someterse para garantizar de alguna manera la estabilidad de la estructura, o sea, los datos extraídos del modelo acerca de las tensiones han sido pertinentes ya que, las deformaciones del tablero se han visto grandemente disminuidas gracias a este factor.

El sistema de tirantes ha mostrado un buen comportamiento luego de asignarle las tensiones necesarias, su diseño en cuanto a dimensiones y distribución han sido lo suficientemente bueno como para lograr conjuntamente con los demás elementos la estabilidad de la estructura. Este elemento en cuestión es el más imprescindible en cuanto a necesidad de diseño, un buen sistema de tirantes es la clave para un puente atirantado. Por ello, el cálculo de las tensiones es tan relevante en un trabajo como este y el proceso de cálculo también es importante y efectivo, como lo ha sido en este caso.

Los estados límite que se han presentado en el sistema han presentado buenos resultados en cuanto a las deformaciones que estos presentaban sobre la alternativa generada, ninguno de los 4 empleados (Resistencia I, Servicio I, Servicio IV y Fatiga I) ha superado los 24 cm de deformación permisibles que existían según la fórmula de Chio. No obstante, el estado límite de Resistencia I que como se conoce es el más poderoso de los cuatro presentados llegó prácticamente al límite asignado, al haber usado la fórmula más conveniente a la hora de asignar el límite de deformación permisible se puede pensar que el puente elaborado no pasa con suficiente seguridad el margen estimado en el proceso.

Los elementos propuestos para el diseño de la estructura poseen características comerciales, por lo que llevar a cabo la alternativa es una idea para nada descabellada. Cada elemento ha sido pensado y ajustado para garantizar la seguridad y estabilidad del puente, al ser una estructura de gran tamaño sus elementos también poseen unas dimensiones considerables, en comparación a otros puentes atirantados, las dimensiones de los elementos en general son bastante promedio, inclusive un poco por debajo del mismo.

Las cargas propuestas en este modelo son bastante simples, lo normal en cualquier tipo de puente, es decir, no se ha sobrecargado a la estructura en ningún sentido, no se han situado más barandas, o algún elemento extra que se agregue a la carga muerta. La alternativa cuenta en su propuesta con el típico par de veredas y barandas peatonales, además de la carga asfáltica, los valores que se han asignado son también basados en diferentes informes por lo que se puede decir que se han estimado cargas reales sobre la estructura planteada. Sobrecargar el modelo con demás características sería inadecuado ya que las construcciones en Ecuador por lo general, cuentan con lo estrictamente necesario, por la economización de llevar a cabo los proyectos.

En cuanto al análisis modal ejecutado, se contempla de buena manera el cumplimiento de las normas NEC al alcanzar el 90% de participación de masa en los 24 modos de vibración empleados, ya que tanto como las dos direcciones “X” y “Y”, además de la torsión, han llegado a 93%, 96% y 95% respectivamente, por lo que el análisis se puede considerar como relevante si se quiere comprobar que el funcionamiento de la estructura es correcto porque si no se llegara al mínimo requerido significaría que algo dentro de la estructura está mal representado, lo que conlleva a que esta no funcione correctamente en el modelo.

Además, se puede notar que el mayor período presentado en el modo 1 de vibración llega justamente a 1 s, es exactamente 0.98 s, por lo que a primera instancia da a entender que no se ha encontrado una estructura con un período bajo, pero tampoco uno alto, se mantiene en un margen estable, que indica que es una estructura estable en cierto sentido. Cabe mencionar que en puentes de este tipo se realizan muchas investigaciones ya que se ha demostrado que los períodos fundamentales pueden variar significativamente, aunque normalmente, a mayor envergadura de la estructura, mayor su período de vibración; es por esto que el valor obtenido en ese sentido no brinda más que información superficial.

Este modelo es muy general, pensado más que nada para ser replicado en otros lugares haciendo pequeños ajustes, tiene la intención de ser un prototipo adaptable a cualquier lugar. Por ello, los análisis que se presentan en el trabajo tienden a dar resultados así mismo generales, con el fin de demostrar su capacidad para cumplir con los estados eficientemente y denotar de esta manera que sí, efectivamente el modelo puede llevarse a cabo en otros lugares, con las mismas dimensiones o con variaciones si así lo requiere,

siempre manteniendo la armonización del modelo base que es la alternativa propuesta en este trabajo.

## **5.2 Recomendaciones.**

En puentes atirantados hay que tomar en cuenta muchas cosas, cada elemento debe estar bien diseñado para un fiel y buen cumplimiento de la estructura. Aunque, a pesar de ello, el sistema de tirantes es el mayor influyente en este tipo de proyectos, ya que son los que garantizarán la estabilidad de la estructura, en comparación a los cables, el resto de elementos son simplemente apoyos para que estos influyan de mejor manera en la estructura.

Si se pretende llevar a cabo la alternativa propuesta en el presente trabajo, hay que tener en cuenta que los empotramientos de las torres son para un planteamiento general, en la vida real, habría que realizar un estudio de suelos para entender el tipo de cimentación y la profundidad de la misma que debería tener en esa circunstancia, lo mismo ocurre con los estribos, que en el modelo están únicamente como apoyos generales base, es decir, un extremo fijo, otro móvil. Fuera de esto, lo demás está apropiado para que se pueda replicar el modelo matemático en el lugar existente e inclusive en otros si así se quisiera porque todo el trabajo ha nacido a partir de las normas existentes sobre el diseño de puentes. Aunque, también se tendría que tomar en cuenta las longitudes de algunas secciones, ya que, al ser adaptadas al modelo, no necesariamente se presentan con las medidas reales.

La propuesta presentada se ha diseñado ciertamente con el fin de alterar lo mínimo posible el cauce del río, es por ello que sustituir 11 pilas con escollera de piedra por 4 patas de las torres planteadas es una mejor opción sin duda alguna. Es por esto que se recomienda diseñar la cimentación de estas como una zapata relativamente pequeña con pilotes incrustados de gran longitud para la estabilidad de la estructura sin la mayor alteración del cauce.

Para realizar cualquier trabajo de este tipo, se debe comprender bien las solicitaciones a las que estará sometida la estructura, y las que propone el entorno en el que se planea dicho proyecto. Por ello este trabajo ha presentado el análisis no solo de las cargas establecidas sino también del comportamiento general del entorno, es decir, observar las capacidades y alteraciones que este tiene; y si se pretende construir, realizar los respectivos análisis para el buen diseño de la estructura.

Además, como recomendaciones más específicas:

La estructura no contempla un nivel de optimización, es decir, se recomienda aplicar teorías o métodos que alcancen el diseño con secciones óptimas. Cabe mencionar que no se descarta que otra tipología estructural de puente se adapte a las condiciones de carga y de sitio del puente por lo cual se recomienda llevar a cabo estudios relacionados.

Todo estudio de puente necesita de información de otras ingenierías, en este trabajo se tuvo que asumir datos que provienen de estos ámbitos. Aunque, existen dichos estudios que han sido realizados por el GAD de El Oro, que en la década pasada realizaron un estudio completo involucrando el estudio topográfico, geológico y geotécnico, hidrológico e hidráulico, además de un estudio del tráfico diario.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Andrade Malla, A. G. (n.d.). *ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS TÉCNICOS Y AMBIENTALES DEL RIO JUBONES GENERADOS POR EL SOCABÓN DEL PUENTE “LA IBERIA”* [Thesis, Universidad Técnica de Machala]. Retrieved March 5, 2023, from <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17340/1/ECFCS-2021-GEA-DE00011.pdf>
- Astiz Suárez, M. Á. (2021). Análisis de los factores que contribuyen a la fatiga de los cables de los puentes atirantados. *Hormigón y Acero*, 72(294), 177–194. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2021.3064>
- Beade Pereda, H. (2022). Sobre la durabilidad estética en el diseño de puentes. *Hormigón y Acero*, 73(297), 7–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2020.2445>
- Cala Monroy, J. J., & Villar Galindo, K. A. (2017). Predicción del comportamiento de puentes peatonales debido a la actividad humana usando modelos de computador. *INGE CUC*, 13(2), 42–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.2.2017.05>
- Carrillo Alonso, L. (2015). *Análisis Teórico de la Variación Aleatoria de los Esfuerzos de Montaje de los Cables en los Puentes Atirantados* [Thesis, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos]. [https://oa.upm.es/39390/1/Luis\\_Carrillo\\_Alonso.pdf](https://oa.upm.es/39390/1/Luis_Carrillo_Alonso.pdf)
- Carrillo, L., Ruiz, J., & Marín, M. (2022). Nuevo puente sobre el río Paraguay en Asunción. *Hormigón y Acero*, 73(297), 50. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2020.2355>
- Castro, G., & Sarmiento, F. (2020). Cálculo y diseño del tramo de un puente ferrocarrilero de superestructura metálica en el Vigía, Estado Mérida. *Gaceta Técnica*, 21(1), 3–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36389.24803>
- Cirilo Manzanarez, C. (2013). *REVISIÓN ESTADOS LÍMITE ESTRUCTURAS* [Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2013/abril/0691611/0691611.pdf>

- Corres Peiretti, H., Pérez Caldentey, A., Milián Mateos, J., Abel Núñez, A., Romero Ballesteros, A., & Lucas Serrano, C. (2022). Nuevo puente Champlain sobre el río San Lorenzo en Montreal. Diseño de las estructuras auxiliares para la construcción del puente atirantado. *Hormigón y Acero*, 73(297), 31–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2020.2320>
- Criado Morán, E., & Navareño Rojo, A. (2021). Inspección y rehabilitación de puentes atirantados en la red de carreteras del Estado. *Hormigón y Acero*, 72(294/295), 163–175. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2021.3034>
- Delgado Castro, C. G., & Lucas Alay, C. A. (2019). Protecciones laterales vehiculares en puentes del Cantón Manta. Aplicabilidad de las Normas AASHTO. *Dominio de Las Ciencias*, 5(Extra Nro 1), 587–601. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v5i2>
- Delgado-Castro, C. G., Rodríguez-Rivas, R. A., & Verá-Ávila, W. A. (2018). Propuesta de puente aplicando el método de diseño AASHTO LRFD para la ciudad de Manta. *Dominio de Las Ciencias*, 4(3), 189–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v4i3>
- Eilzer, W., Muller, M., Lehman, T., Rodriguez Molina, R., & Kratzke, B. (2022). Puente de Colonia-Mülheim sobre el Rin\_ equilibrio entre la conservación del patrimonio y las estrategias de renovación de estructuras existentes. *Hormigón y Acero*, 73(297), 15–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2020.2389>
- Eilzer, W., Muller, M., Schumm, M., Romberg, M., Rodriguez Molina, R., & Gutierrez Manzanedo, F. (2022). Reemplazo de dos puentes atirantados sobre el Rin\_ el puente de Leverkusen y el puente de Duisburg. *Hormigón y Acero*, 73(297), 23–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2020.2390>
- El Universo. (2011, July 12). *Se inaugura 3º puente de Quevedo*. EL UNIVERSO. <https://www.eluniverso.com/2011/07/12/1/1447/inaugura-3-puente-quevedo.html>
- Fajardo Sánchez, J. R. (2010). *DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE GERENCIAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN LA CUENCA DEL JUBONES*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2343/1/Tesis.pdf>
- GAD LA IBERIA. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO*

- Garita, C., Ortiz, G., & Mora-Mora, J. (2018). Análisis de requerimientos para un sistema nacional de monitoreo de puentes. *Revista Tecnología En Marcha*, 31–4, 63–72. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i4.3965>
- Gil, O. (2018). El puente de Alfonso XIII de Sevilla: análisis patrimonial. *Informes de La Construcción*, 70(552), 273. <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.60989>
- Herrera Cevallos, M. R. (2007). *Estudio de Puentes Atirantados* [Thesis, ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1579>
- León, J., Melchor, C., & Sánchez, V. (2022). Modal identification methods on cable-stayed bridges case study\_ Rayitos de Sol Bridge. *TECNIA*, 32(2), 101–111. <https://doi.org/https://doi.org/10.21754/tecnia.v32i2.1437>
- López Pacheco, G., & Rosas Rojas, N. (2022). Beneficios de la construcción del puente rocotales en el servicio de transitabilidad vehicular e impacto ambiental en la región Cusco Perú. *Dominio de Las Ciencias*, 8(2), 97–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/dc.v8i2>
- Machado, C., Buckner, E., Gaudard, M., Batista, M., & Coelho, R. (2021). Estudio sobre patologías em pontes \_ Study on bridge pathologies. *Brazilian Journal of Development*, 7(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-713>
- Manterola, J., Muñoz, J., Manouchehri, P., & Orgueta, M. (2020). Efectos del viento en el proyecto del puente atirantado entre las islas de Cebú y Mactán (Filipinas). *Hormigón y Acero, VIII Congreso ACHE*. <https://doi.org/https://doi.org/10.33586/hya.2020.3005>
- Manzano Suarez, M. E., & Pérez Nolivos, R. P. (2012). *Análisis y diseño de un puente atirantado, ubicado en la provincia de Esmeraldas sobre el río Atacames* [Thesis, EPN]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4803>
- Marín Christopher, & Maldonado Juan. (2022). Estudio de las causas del colapso de puentes en Ecuador (2000 - 2022). *Revista Multidisciplinaria Arbitrada de*



Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Ecuador). (2015). *Puente “Los Caras” obra del Gobierno Nacional: Atractivo turístico dentro y fuera del país*. MTOP. <https://www.obraspublicas.gob.ec/puente-los-caras-obra-del-gobierno-nacional-atractivo-turistico-dentro-y-fuera-del-pais/>

Núñez Escobar, J. A. (2014). *COMPORTAMIENTO Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES VEHICULARES MEDIANTE EL ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA VERSUS EL DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES*. [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10044/1/Tesis%20852%20-%20N%C3%BA%3%B1ez%20Escobar%20Jonathan%20Alberto.pdf>

Ordorica-Mellado, M. (2021). Demografía y SARS-CoV-2. *Papeles de Población*, 27(107), 19–39. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22185/24487147.2021.107.03>

Peña, Á., Valenzuela, M., Márquez Marcelo, & Pinto Hernán. (2017). Requisitos geotécnicos mínimos para el diseño de cimentaciones de puentes tradicionales y singulares: Puente Colgante Chacao. *Diario de La Construcción*, 16(3), 498–505. <https://doi.org/https://doi.org/10.7764/RDLC.16.3.498>

Plasencia Lozano. (2014). Puentes, sociedad e ingeniería. *Informes de La Construcción*, 66(535). <https://doi.org/https://doi.org/10.3989/ic.13.041>

Quispe Auccapuella, N. L., & Chihuán Cangalaya, J. L. (2016). *Análisis y diseño comparativo de las estructuras metálicas del puente vehicular tipo reticulado Manchiri 64 m según la norma AASHTO Standard (ASD) y la norma AASHTO LRFD* [Thesis, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1989>

Reinoso Bajaña, A. P., & Zambrano Bernal, S. M. (2014). *Cálculo y diseño de la superestructura para el puente naranjal 1 que forma parte del proyecto control de inundaciones del río Naranjal*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20927>

- Rincón Ortiz, J. C., Perez, M., Delfín, G., Freitez, C., & Martínez, F. (2017). Análisis comparativo entre modelos HEC-RAS e IBER en la evaluación hidráulica de puentes. *Gaceta Técnica*, 17(1), 9–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18178.68809>
- Rodríguez-Roblero, M. J., Lobo Aguilar, S., Vargas-Alas, L. G., & Castillo-Barahona, R. (2021). Impacto del terremoto de Limón de 1991 en el diseño estructural de puentes \_ Revista Geológica de América Central. *Revista Geológica de América Central*, 65, 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/rgac.v0i65.46880>
- Viviescas, J., Herrera Rey, L., & Arenas Páez, S. (2017). Determinación de la capacidad resistente de puentes viga-losa en concreto postensado mediante pruebas de vibración ambiental\_ Caso de estudio Puente El Ramo. *INGE CUC*, 13(1), 32–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.03>
- Aceros Arequipa. (n.d.). *Manual del maestro constructor*. Retrieved October 8, 2023, from <https://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-del-maestro-constructor>
- Bairán García, R. A. (2012). *SENSIBILIDAD Y SEGURIDAD DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN RÉGIMEN NO LINEAL* [Universidad Politécnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/14777?show=full>
- Benjumea, J., Chio, G., & Maldonado, E. (2010). *Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes extradados: visión general y estado del arte*. 25(0718–5073), 383–396. <https://doi.org/dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000300004>
- Benjumea Royero, J., Mario, S. R., & Chio Cho, G. (2013). COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE PUENTES EXTRADOSADOS DURANTE CONSTRUCCIÓN POR VOLADIZOS SUCESIVOS. *EIA*, 10. <https://doi.org/10.14508/reia.2013.10.20.111-125>
- Carrión Viramontes, F. J., Hernández Jiménez, J. R., & Terán Guillén, J. (2005). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DE UN PUENTE ATIRANTADO EVALUACIÓN DE CABLES*. 0188–7297. [https://www.researchgate.net/publication/281865607\\_Estudio\\_Experimental\\_de\\_un\\_Puente\\_Atirantado\\_Evaluacion\\_de\\_Cables](https://www.researchgate.net/publication/281865607_Estudio_Experimental_de_un_Puente_Atirantado_Evaluacion_de_Cables)

- Flores Flores, M. M. (2017). *Evaluación dinámica de una estructura ubicada en Pedernales mediante un análisis de sismo equivalente y un análisis tiempo historia*. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13771>
- Gonzalez Carceles, J. (1990). *ANÁLISIS DEL PROCESO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS PORTICADAS*. [https://oa.upm.es/2282/2/JUAN\\_GONZALEZ\\_CARCELES.pdf](https://oa.upm.es/2282/2/JUAN_GONZALEZ_CARCELES.pdf)
- Hernández Cepeda, M. F. (2021). *Análisis estático y dinámico de un puente arco con tablero intermedio mediante elementos finitos* [Universidad de Salamanca]. <https://gredos.usal.es/handle/10366/150290>
- Martinez Corcoba, R. (2015). *Estudio del comportamiento dinámico y estructural del puente sobre el Río Torote frente a las acciones del nuevo Tráfico Ferroviario* [Universidad Politécnica de Madrid]. [https://oa.upm.es/43958/1/TFG\\_Rafael\\_Martinez\\_Corcoba.pdf](https://oa.upm.es/43958/1/TFG_Rafael_Martinez_Corcoba.pdf)
- Medina Gruezo, J. N., & Mora Mora, J. P. (2021). *Método para el análisis estático y dinámico en mapas cognitivos difusos* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20968/1/UPS-GT003402.pdf>
- Mendoza León, M. A. (2020). *Análisis de un puente atirantado y parámetros de control durante su construcción*. [Universidad Michocana de San Nicolás de Hidalgo]. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/7774](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/7774)
- NEC. (2014). *PELIGRO SÍSMICO: DISEÑO SISMO RESISTENTE*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- Pascual Santos, J. (2004). *Criterios de dimensionamiento de los diafragmas interiores en secciones cajón de puentes mixtos* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/9616/>
- Rodriguez Serquen, A. (2020). *PUENTES* (Novena, Vol. 9). <https://civilgeeks.com/2020/12/15/puentes-con-aashto-lrfd-libro-actualizado-al-2020-msc-ing-arturo-rodriguez-serquen/>

Tamayo Roca, C. (2017). La modelación científica: algunas consideraciones teórico-metodológicas. *Universidad de Oriente*, 142. <https://santiago.uo.edu.cu/index.php/stgo/article/view/2123>

Valdebenito, G. E., & Aparicio, Á. C. (2005). *Comportamiento Sísmico de Puentes Atirantados y Disipación de Energía Adicional: Un Estado del Conocimiento* [CENTRO INTERNACIONAL DE METODOS NUMERICOS EN INGENIERIA]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/28373>

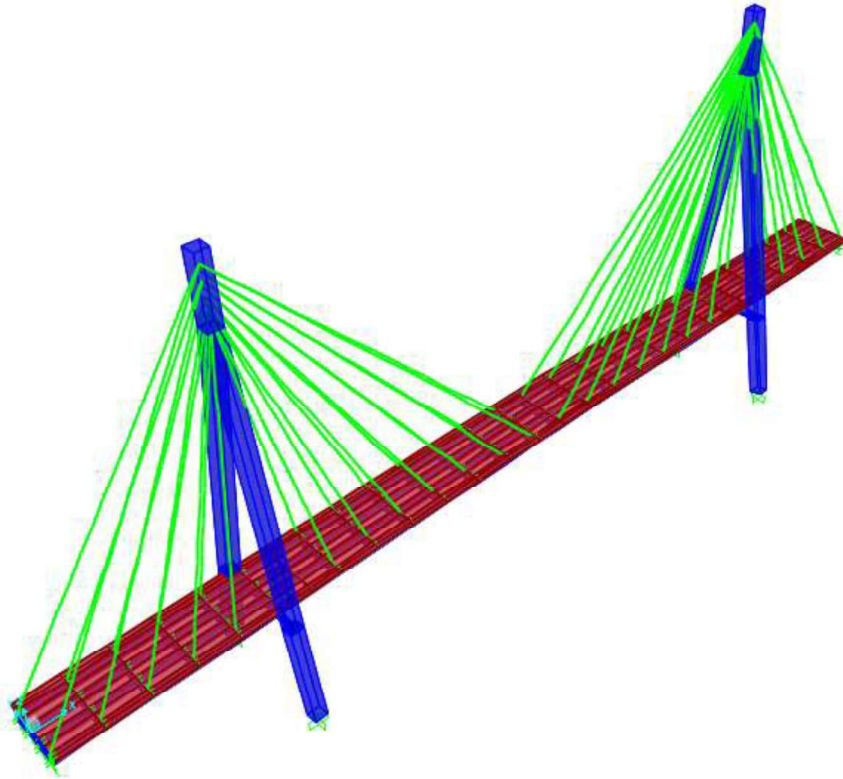
## 7. ANEXOS.

### Anexos 1. Puente Actual "Victor Manuel Serrano".

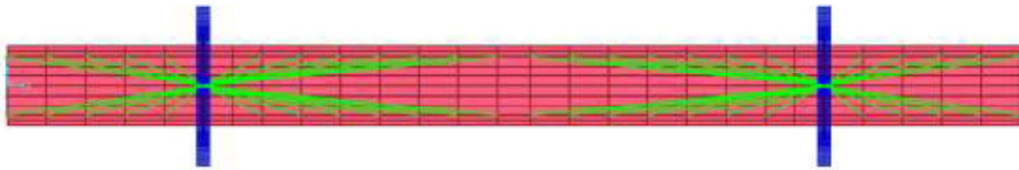


## Anexos 2. Vistas del Modelado de la Estructura.

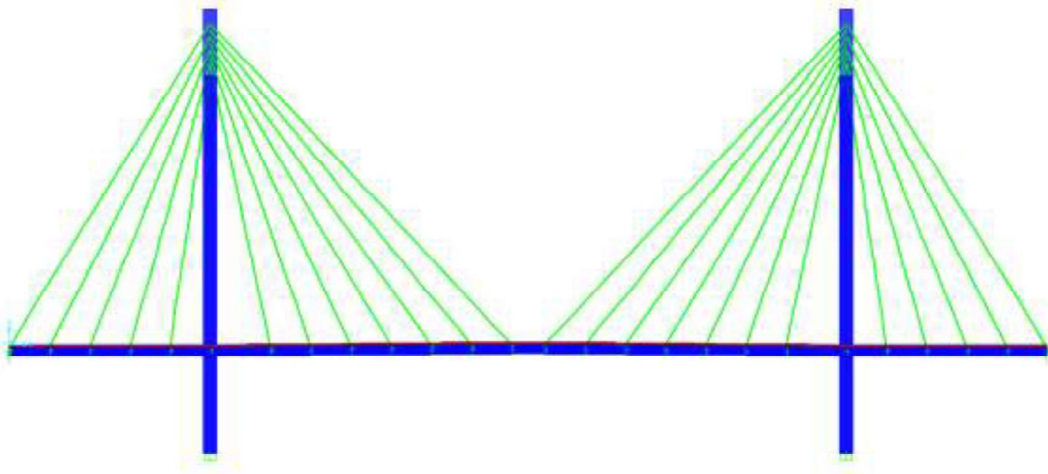
- Vista 3D – Modelado.



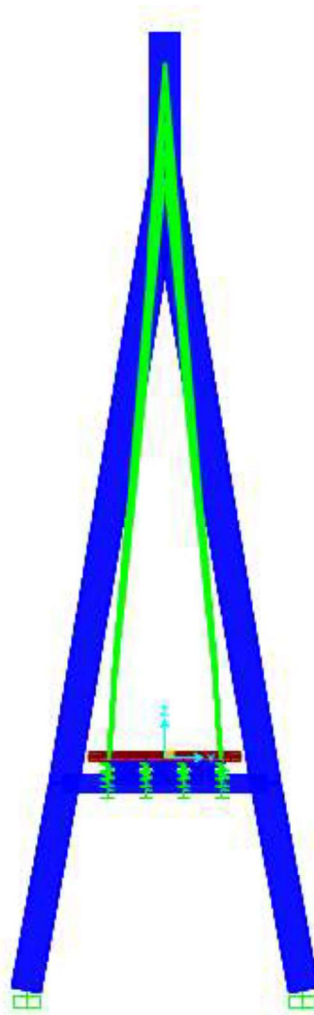
- Vista en Planta - Modelado.



- Vista Lateral – Modelado.



- Vista Frontal – Modelado.



### Anexos 3. Tablas NEC – Peligro Sísmico

- Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

- Fd: amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

- Fs: comportamiento no lineal de los suelos



Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

