



Formato de Presentación Póster Misión Académica Internacional

1. Información General del Proyecto					
Facultad de Ingeniería Civil			Fecha de presentación:		
			DD	MMM	AAAA
Programa: Especialización en Estructuras			07	12	2023
Título del proyecto: IDENTIFICACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES UTILIZADOS EN LAS ZONAS DE LUCES MÁXIMAS DE LOS PUENTES PRESIDENTE COSTA E SILVA EN BRASIL Y PUMAREJO EN COLOMBIA.					
1.1 Director del Proyecto					
Nombres y Apellidos	Número Documento	Nivel de Formación	e-mail	Número Teléfono	
Harold Alexander Álvarez Castaneda	9.397.835	Maestría en Ingeniería - Estructuras.	harold.alvarez@usantoto.edu.co	3118115698	
1.1.1 Codirector del Proyecto					
Nombres y Apellidos	Número Documento	Nivel de Formación	e-mail	Número Teléfono	
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
1.2 Estudiantes Participantes					
Nombres y Apellidos	Número de Documento	Semestre	Correo Electrónico	Número Teléfono	
Martha Ximena López Mancipe	1.057.548.795	2	Martha.lopez@usantoto.edu.co	3204098672	
Kevin Stevens Piraquive Ávila	1.033.798.850	2	Kevin.piraquive@usantoto.edu.co	3167349923	
1.3 Firmas					

Harold Alexander Álvarez C.

Director 1

Martha Ximena López Mancipe

Estudiante 1

Codirector 2

Kevin Stevens Piraquive Ávila

Estudiante 2

2. Introducción

Máximo 300 palabras: El resumen debe tener máximo dos párrafos que incluyan de manera abreviada, sencilla e interesante la información necesaria, para que el lector entienda el objetivo, la pertinencia y la calidad del proyecto. Debe incluir una breve introducción, el objetivo, la metodología general que será empleada, los resultados potenciales, la pertinencia y el alcance de la propuesta.

La presente investigación se centra en el análisis estructural de las luces máximas de los puentes Costa e Silva en Rio en Janeiro, Brasil, y el Puente Pumarejo en Barranquilla, Colombia, identificando los elementos estructurales adoptados en las zonas críticas, los cuales se diseñaron para contrarrestar las condiciones geológicas y meteorológicas, para así soportar los fenómenos y cargas que allí predominan.

Es evidente que cada país utiliza patrones y elementos en el diseño estructural que se usan con más frecuencia en toda su infraestructura de puentes. Es por esta razón, que el objetivo de la investigación es identificar el proceso constructivo en las zonas críticas de mayor luz y vibraciones que presentó el Puente Costa e Silva (Brasil), como el puente de más extensión de Latinoamérica, su gran desarrollo, eficacia e innovación para el beneficio de los sectores de transporte terrestre, marítimos y aéreos con la construcción del mismo. Y de igual manera, identificar la solución estructural en luz máxima que presenta Colombia con la construcción del Puente Pumarejo en el río magdalena, siendo el puente de más longitud del país.

3. Estado del Arte y Análisis de Vigilancia Tecnológica

Este apartado permitirá identificar la información existente sobre el tema de investigación; así como los vacíos conceptuales entre la comunidad científica internacional, permitiendo orientar la propuesta a la resolución de un tema específico. Debe incluir una recopilación de información sobre el problema planteado (principalmente la reciente), soportando teóricamente los objetivos del proyecto; analizando casos similares en los ámbitos regionales, nacionales e internacionales. En caso de que la temática no cuente con información previamente publicada en el tema, deberá soportarse mediante análisis específicos en bases de datos sobre la literatura consultada. También debe incluir un análisis de vigilancia tecnológica de las bases de datos bibliográficas y de patentes que permita identificar las tendencias globales sobre la investigación que se pretende realizar. Recuerde incluir las referencias bibliográficas de toda la información y figuras que emplee.

Basados en la misión internacional realizada en la ciudad de Rio de Janeiro Brasil, se identifica el gran desarrollo que tiene la ciudad en obras de infraestructura vial, en especial en la gran cantidad de puentes al interior de su ciudad. Dentro de estas estructuras, se evidencia el puente Presidente Costa E Silva, en homenaje a Artur da Costa e Silva quien fue presidente de la dictadura militar brasileña, o también llamado Puente Rio-Niterói, el cual “Mastodóntico y paquidérmico, es el puente de hormigón más largo del hemisferio sur y el sexto más largo del mundo...” como lo llamó Luciana Guimaraes, Periodista en la plataforma CLA Construcción Latinoamericana, en su artículo “Puente Río-Niterói: patrimonio de Brasil”. Este puente presenta grandes reconocimientos, al tener una extensión de 13.9 Kilómetros y presentar



una combinación de estructuras de concreto reforzado y dos estructuras metálicas diseñadas como una arcada continua constituida por dos vigas-cajón gemelas, como sustentación de sus necesidades en la luz máxima del puente de 300 metros, 60 metros de altura libre para navegación y un máximo de 72 metros de altura de la estructura para el flujo aéreo del aeropuerto nacional Santos Dumont y, de igual manera, las vigas cajón presentan continuidad para dos vanos laterales de 200 metros posteriores a los pilares y 30 metros más a cada lado del apoyo y finalmente dos vigas metálicas de 44 metros para realizar la conexión con la estructura en concreto. Con estas consideraciones, se eligió invertir en la prefabricación de la estructura metálica, que debido a su relación de esbeltez, se elige de un material específico de alta resistencia y de gran volumen para ser ensambladas en los pilares de concreto como un solución que “eliminó la necesidad de efectuar prolongados trabajos de construcción y montaje sobre el agua, con toda la gama de riesgos que esto implicaba, posibilitando la confección de la estructura metálica en tierra con mayores facilidades, y simultáneamente a la construcción, in situ, de la estructura de hormigón de las pilas” cómo lo dice el libro Informes de la Construcción Volumen 31, No 304 (1978).

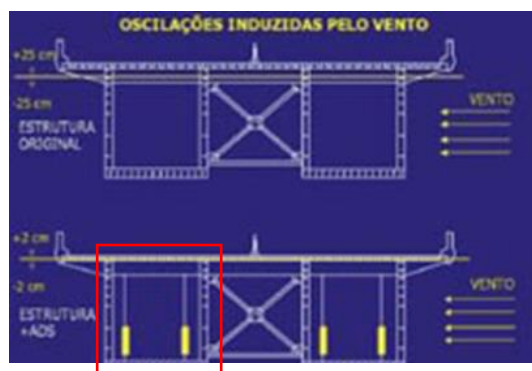
En las diferentes visitas de campo realizadas en la Universidad Federal de Rio de Janeiro, Ciudad de Niteroi y lugares emblemáticos como los son el Cristo Redentor y Pao de Azúcar, es totalmente impactante la apreciación de la comunidad, así como lo dijo la historiadora Andreia Conceição: “No hay carioca que no hable del Puente con propiedad. Es como si fuera algo rutinario en la vida de todos. Económicamente, su importancia es colosal, ya que, como ramal de la BR 101, la principal carretera que atraviesa el país, además de conectar ciudades del Estado de Río, también se encarga de facilitar la recepción y salida de mercancías procedentes de Sudamérica. Pero mucho más que conectar las ciudades del Estado, conecta personas, historias y vidas”.

Así mismo, en las visitas a la Universidad Federal do Rio de Janeiro UFRJ, y en específico, en la conferencia del Centro de Investigación de Materiales De Tecnología del COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Estudios de Posgrado e Investigación en Ingeniería), se tuvo en cuenta la investigación de diferentes materiales y sistemas constructivos que se tienen proyectados para darle un mayor impulso a la infraestructura de Brasil. Aquí se solicita a los docentes la explicación del por qué los elementos estructurales de la mayoría de los puentes identificados en Rio de Janeiro, presentan vigas con secciones longitudinales en concordancia con los diagramas de momentos que se generan en su modelación, recibiendo la información de que estas secciones optimizan la cantidad de material utilizado, al utilizar sólo el material en los lugares que soportará las solicitaciones del elemento. Este mismo concepto es utilizado en el vano central del Puente Niteroi, en su elemento de acero, donde la sección transversal y longitudinal se asemeja a sus diagramas de momentos. De igual manera, estas visitas técnicas a los laboratorios, permitieron identificar el gran avance investigativo y ecológico que tiene el país de Brasil en sus elementos estructurales y la razón del por qué su infraestructura vial es la que genera el mayor impacto



visual y estructural de la ciudad para los visitantes pertenecientes a la especialización de estructuras de la universidad Santo Tomás.

De igual manera, debido a que cuando los vientos alcanzaban velocidades entre 60 km/h a 70 km/h, se genera una señal de alerta, que, en caso de llegar a 80 km/h, se debía realizar el cierre de la carretera, así como lo dijo Luciana Guimaraes, periodista en plataforma CLA; el Centro de Investigación de Materiales De Tecnología COPPE (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Estudios de Posgrado e Investigación en Ingeniería), en el año 2004 (pasados 30 años de su inauguración) desarrolla, por medio de Ronaldo Battista, el diseño de un sistema de control dinámico el cual fue llamado Atenuadores Dinámicos Sincronizados (ADS), para evitar amplitudes de oscilaciones elásticas producidos por la sección eólica, instalando 32 atenuadores de 2 Toneladas, en el interior de las vigas del vano central, cumpliendo con el sistema de amortiguación que obedecen la Ley de Hooke, absorbiendo al energía de las vibraciones y disminuyendo considerablemente, como explica Ronaldo Battista en la página de la COPPE el 15 de marzo de 2004: "...La mayor oscilación registrada en el puente Rio-Niterói, tuvo un desplazamiento pico a pico de 1,20 metros, equivalente a 60 cm de oscilación arriba y abajo en relación con su estado normal. Con el ADS, estas oscilaciones se reducirán en más del 80%, resultando en valores estimados de 10 cm pico a pico. Una amplitud tan baja, unida a un periodo de oscilación de unos 3 segundos, no causa molestias a los usuarios que circulan por el puente".



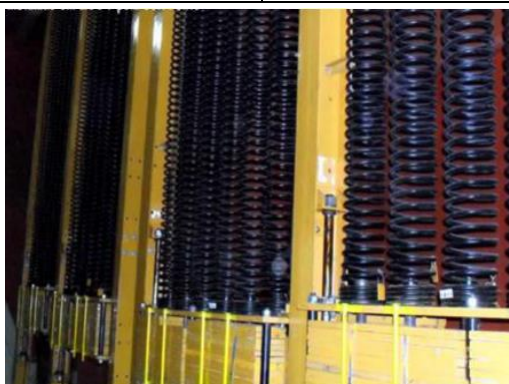
Oscilaciones inducidas por el viento Puente Rio-Niteroi

Fuente: COPPE UFRJ



Atenuadores desarrollados por la COPPE

Fuente: COPPE UFRJ



Atenuadores desarrollados por la COPPE

Fuente: COPPE UFRJ

Adjuntamos fotografías de las investigaciones y laboratorios evidenciados en la Universidad Federal de Rio de Janeiro UFRJ y visitas en donde se evidencia el puente Costa e Silva (Niteroi):



Viga sección Cajón Hueca pretensado, concreto reforzado con fibras vidrio UFRJ

Fuente: Propia



Vista puente Costa e Silva (Rio-Niteroi) desde UFRJ

Fuente: Propia

Así mismo, según la investigación realizada, se identifica que el puente Pumarejo, situado en la ciudad de barranquilla atlántico- Colombia, y a 12 kilómetros de la desembocadura del rio magdalena, fue planificado para satisfacer la comunicación entre Barranquilla y Santa Marta, ciudades de Colombia. Este puente cuenta con un diseño de 45 metros de galibo vertical y 380 metros de distancia libre horizontal, con 3 carriles por sentido, ciclo rutas y andenes laterales, además, cuenta con un ancho de tablero de 38.1 metros en su tramo principal, convirtiéndolo en el puente más ancho del mundo con una tipología de “puente cajón de hormigón con atirantamiento central”. Adicionalmente, fue diseñado con la norma colombiana de diseño CCP-14, que entró en vigencia meses antes de la adjudicación, destacando en los diseños dos acciones particulares, como lo son, el viento, por la probabilidad de huracanes con velocidades de 190 KM/h, superando en un 41% la velocidad máxima de la norma CCP-14 que es de 160 KM/h, adoptando así, la velocidad del viento de 130 KM/h con un periodo de retorno de $T_r=1000$ años, que sigue siendo muy conservador, y por otra parte, la acción sísmica, porque el proyecto está situado en una hipótesis de un límite de la placa del caribe no comprobada, siendo una situación de potencial amenaza cercana y estableciendo en el proyecto una aceleración absoluta máxima de 0.45 g.

El tramo atirantado, siendo la luz más crítica del puente, consta de una longitud de 770 metros, con un vano central atirantado de 380 metros de luz suspendido en dos pilones de cerca de 125 metros de altura neta. El tablero está conformado por cajones de concreto de 3.65 metros de

canto y disponen de dos almas inclinadas con anchura entre almas de 15 metros en la zona inferior y 16 metros en la parte superior, además, dos voladizos de aproximadamente 11 metros para tener un ancho total de 38.1 metros. Esta placa tiene un espesor de 0.25 metros, la cual, aumenta a 0.55 metros adyacentes a los pilones y con una resistencia de 50 MPa. Los pilones se encuentran apoyados sobre dados de concreto que a su vez se apoyan en pilotes que tiene una profundidad que varían entre los 35 metros y 55 metros.

4. Planteamiento del Problema de Investigación

El problema que quiere resolverse con el desarrollo del proyecto de investigación debe plantearse de manera concreta. Debe incluir la descripción breve de antecedentes de la temática que se va a desarrollar; así como explicar claramente como el desarrollo del proyecto aportará a la resolución del problema o generará el conocimiento necesario que permita una ventaja competitiva a futuro. Enfocado hacia los problemas en los que se puede aportar con una solución, a partir de lo visto y realizado en los seminarios y laboratorios en Brasil.

El puente Presidente Costa e Silva en Niteroi- Rio de Janeiro en Brasil, fue construido para dar solución a la conexión inmediata de Rio de Janeiro y Niteroi para fortalecer el flujo marítimo y aéreo existente, con elementos estructurales prefabricados específicos e innovadores que hoy día permiten que su funcionamiento sea óptimo en las zonas críticas y de luces máximas del puente. Así mismo, el puente Pumarejo, se construyó con el objetivo de mejorar la conectividad de las comunidades de Barranquilla y Santa Marta, y en especial, con el fin reactivar la navegabilidad en el Rio Magdalena, permitiendo el paso de buques de mayor altura, esto con un sistema estructural que permite la construcción de luces de mayor extensión y altura para beneficio del transporte.

Por esta razón, la previa investigación genera la necesidad de realizar la comparación de los puentes Presidente Costa e Silva (Brasil) y Puente Pumarejo (Colombia), específicamente respecto a la solución adoptada del sistema y elementos estructurales que se utilizaron para soportar todas las solicitaciones en sus luces máximas.

5. Justificación de la Propuesta e Identificación y Descripción del Conocimiento que Generará la misión académica internacional

Explicar claramente la originalidad, relevancia y pertinencia de la misión (teniendo en cuenta la información previamente plasmada); e identificar y describir en función de los resultados que generará teniendo en cuenta el estado del arte y el planteamiento del problema.

Nuestra investigación acerca de los puentes Presidente Costa e Silva (Brasil) y Puente Pumarejo (Colombia), nos permite distinguir con claridad las soluciones que cada uno de estos presentan en las zonas críticas de mayor luz, que son necesarias para permitir el flujo marítimo. Esto permitiría identificar los elementos estructurales que se construyeron para suplir estas necesidades, sus tiempos de construcción, y materiales específicos utilizados en la zona.



Así mismo, este tipo de paralelos, generan puntos de comparación para poder encontrar si la implementación o cambio de alguno de los sistemas estructurales como, por ejemplo, el puente Pumarejo (Colombia) con un sistema de estructura metálica prefabricada en viga continua o el Puente Costa e Silva (Brasil) con un sistema atirantado, suplirían las solicitudes diseño para lo que fue construido, de igual manera, serían procesos constructivos óptimos y de baja complejidad constructiva para cada país. Y en caso, de que este paralelo genere las razones de no utilizar el sistema estructural del puente contrario, entonces poder sustentar y justificarlo para brindar el conocimiento como solución y propuesta en futuros diseños estructurales.

6. Objetivos

Cada objetivo debe estar enlazado con una sección en la metodología, las cuales a su vez estarán vinculadas con una(s) actividades específicas, y un(os) producto(s) específico(s) esperado(s). Los objetivos específicos deberán estar enumerados.

Objetivo general.

Realizar la investigación y comparación de los sistemas y elementos estructurales construidos en las zonas de luces máximas de los puentes Presidente Costa e Silva (Niteroi – Rio de Janeiro, Brasil) y el Puente Pumarejo (Colombia).

Objetivos específicos.

- Identificar el sistema constructivo y elementos estructurales claves en las zonas de luces máximas de los Puentes Presidente Costa e Silva (Brasil) y Puente Pumarejo (Colombia).
- Realizar el análisis comparativo de los sistemas estructurales, elementos utilizados en vanos centrales de luz máxima y periodos de ejecución de los Puente Presidente Costa e Silva (Brasil) y Puente Pumarejo (Colombia).
- Determinar los elementos utilizados para el control de las corrientes de viento y oscilaciones en las luces máximas de los Puentes Presidente Costa e Silva (Brasil) y Puente Pumarejo (Colombia).

7. Métodos (visitas técnicas a laboratorios, talleres, seminarios)

Esta sección es de gran importancia pues debe dejar perfectamente claras las actividades que se llevarán a cabo para obtener las respuestas planteadas en los objetivos. Para esto, describa de manera específica y organizada los métodos detallados de cómo se alcanzarán cada uno de los objetivos planteados. Indique los procesos para recolectar la información, la organización, sistematización de los datos y el análisis de los mismos. Especifique los materiales o equipos que va a emplear (con referencias en lo posible). Especifique también las técnicas analíticas que va a usar y como va a obtener resultados cuantificables, las pruebas estadísticas que empleará para dar el nivel de confianza requerido para responder con certeza cada uno de los objetivos específicos. Cada sección de materiales y métodos debe explicar de manera detallada que objetivo u objetivos pretende cubrir y los procedimientos detallados con los que lo logrará. En caso



de usar metodologías de referencia, recuerde citar los autores originales; así como explicar con sus propias palabras los procesos que involucra dicha metodología.

La metodología utilizada para lograr cada uno de los objetivos descritos, se plantea con base en las visitas técnicas realizadas a lo largo de la ciudad de Rio de Janeiro y Niteroi, en dónde con base a la historia descrita por los Cariocas, se identifica su impacto y descripción de su estructura al momento de recorrer cada lugar alrededor del puente Costa e Silva. De igual manera, la visita a la Universidad Federal de Rio de Janeiro UFRJ, en la conferencia del Centro de Investigación de Materiales De Tecnología, específicamente en el COPPE, permitió realizar preguntas de los sistemas constructivos y materiales claves en la construcción de la infraestructura vial de puentes en Rio de Janeiro.

Se utiliza medios tecnológicos e información en formato digital, como lo son libros, revistas, entrevistas y documentales acerca de los puentes Costa e Silva (Brasil) y Pumarejo (Colombia), para encontrar, específicamente, con la opinión de ambas partes, su impacto y, de una manera didáctica, su representación con animaciones o imágenes aéreas que permiten el análisis de la longitud total de cada una de estas mega estructuras. De esta manera, los recursos más pertinentes para la identificación de la información de estas dos estructuras son los recursos tecnológicos y comentarios realizados por profesionales que dan su opinión y explicaciones del comportamiento de los sistemas constructivos.

8. Aplicación en Colombia

El estudiante debe elegir un proyecto o técnica desarrollada expuesta en las palestras y/o los laboratorios visitados y establecer un análisis comparativo con Colombia y su aplicación en el contexto de la Ingeniería civil en el país.

Gracias a la misión internacional realizada en Rio de Janeiro, Brasil, por los estudiantes de la Especialización en Estructuras, las conferencias y laboratorios visitados en la UFRJ, identificamos el gran potencial en investigación de infraestructura de puentes. De esta manera, encontramos que el puente Costa e Silva (Brasil), presenta elementos para la realización de esta gran estructura, con sistemas innovadores y locales creados para contrarrestar los fenómenos de viento que genera esta estructura de gran magnitud y altura, en sus 13,2 Km. De esta manera, más que identificar una posible aplicación en Colombia de este método constructivo, es cómo ambos países presentan sistemas y elementos estructurales en su zona crítica de luz máxima, las cuales cumplen óptimamente para los fenómenos presentados en cada país y zona según sus normativas vigentes.

A pesar de que en ambos países, Colombia y Brasil, sus puentes Pumarejo y Costa e Silva, respectivamente, presentan propuestas de diseño en sus luces máximas con elementos de gran potencial e innovación, podemos identificar que, si se realiza la comparación de el caso en que



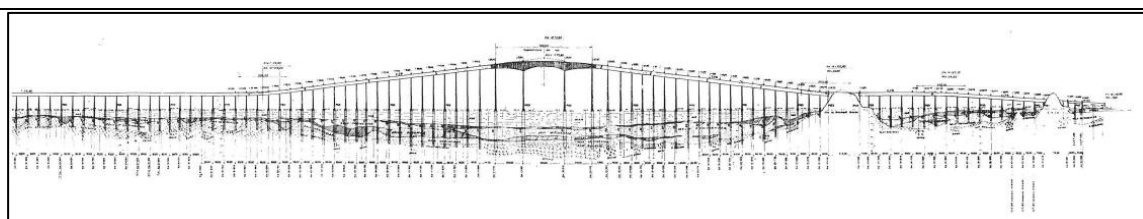
el puente Pumarejo (Colombia), al ser de gran extensión y altura, pueda ser analizado con el sistema que adoptó el puente Costa e Silva (Brasil), donde prevalece los materiales de concreto reforzado, al igual que en el puente Pumarejo (Colombia), pero en especial, con la incorporación, en su luz máxima, de una estructura metálica prefabricada, que soporta los momentos máximos generados por las cargas vehiculares, cargas de la superestructura y también, si se utilizaran los sistemas ADS (Atenuadores Dinámicos Sincronizados) creados por la COPPE directamente en Brasil, para contrarrestar los vientos que se generan al ser una luz de gran extensión y altura, permitiría un proceso constructivo, en el que no se presentarían interferencias al construirse por tramos que efectúan trabajos prolongados de construcción y montaje sobre el agua con los riesgos que genera, y siendo una construcción de mayor complejidad. Así mismo, en Colombia, el Puente Pumarejo, para resistir las solicitaciones de sus luces máximas, presenta la construcción del sistema atirantado, debido a que su objetivo inicial era permitir el flujo marítimo, que no se había logrado con el puente antes existente en el mismo lugar. Sin embargo, cabe resaltar que, comparando la relación de los tiempos de construcción con respecto a sus extensiones, el sistema estructural del puente Presidente Costa e Silva, es una construcción más rápida y optimizada en sus tiempos de ejecución, además que, al no tener elementos de gran volumen y altura, como lo son los gálibos y pilones, permiten el flujo de transporte aéreo si a futuro se tiene proyectado en zonas cercanas.

9. Resultados Esperados

Detallar los resultados directos, medibles y cuantificables que se obtendrán con el desarrollo del proyecto, y como se relacionan estos con cada uno de los objetivos planteados. Indique para cada uno las características del nuevo conocimiento generado, la fecha tentativa en la que el resultado o el producto será finalizado, así como un indicador claramente definido que permita evidenciar el cumplimiento de dicho objetivo y producto (debe estar detallado en la metodología). Algunos ejemplos de indicadores pueden ser el número de publicaciones indexadas, pruebas realizadas, ponencias, pruebas de laboratorio, ejecución de encuestas, experimentos, etc. Todos los objetivos específicos deben tener por lo menos un resultado o producto con un indicador verificable.

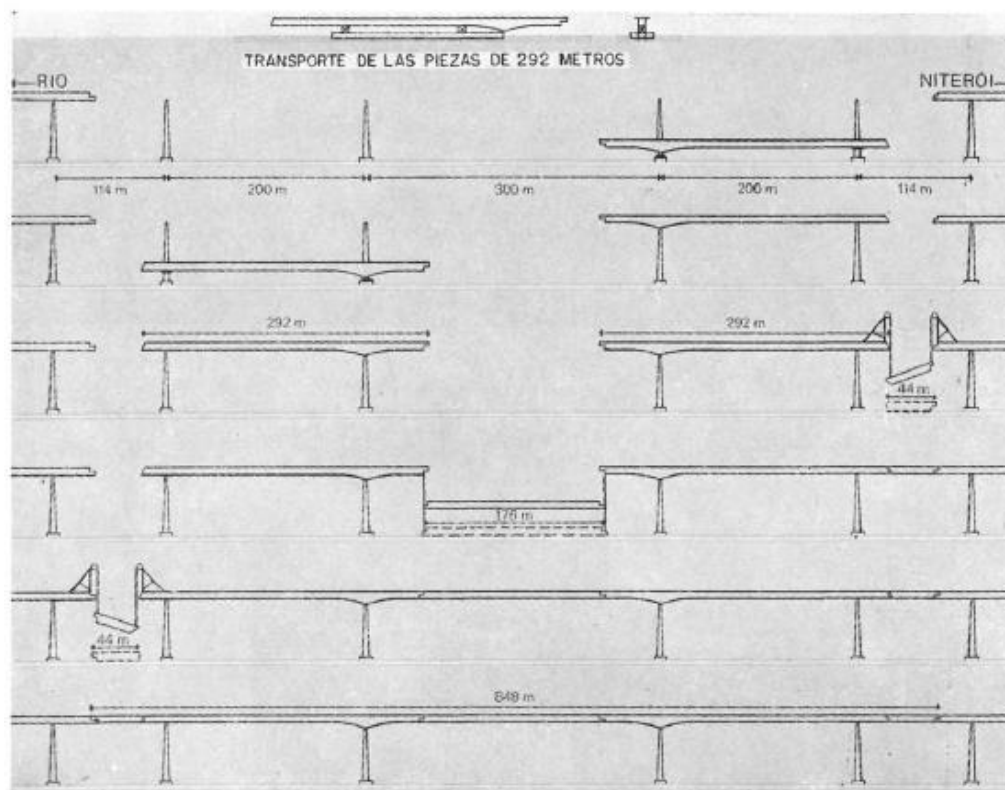
La investigación permitió identificar que el puente Costa e Silva (Brasil), presenta dentro de su sistema estructural el ensamblaje de elementos metálicos de dos vigas cajón continuas gemelas con una extensión total de 848 metros, distribuidos en 300 metros de la luz máxima del vano central con 60 metros de altura libre y 75 metros de altura total de la superestructura, 200 metros de las vigas cajón que dan continuidad en los dos vanos laterales posteriores a los pilares, 30 metros más a cada lado del apoyo y finalmente dos vigas metálicas de 44 metros para realizar la conexión con la estructura en concreto. Esto se puede evidenciar con las fotografías dadas en el libro “Informes de la Construcción Vol. 31, nº 304 octubre de 1978, EL PUENTE RÍO DE JANEIRO- NITEROI BRASIL”.





Sección Transversal Puente Presidente Costa e Silva (Rio-Niteroi) Brasil

Fuente: EL PUENTE RÍO DE JANEIRO- NITEROI BRASIL, Informes de la Construcción Vol. 31, nº 304 octubre de 1978.



Fases de la elevación de la estructura metálica (Vano central)

Fuente: EL PUENTE RÍO DE JANEIRO- NITEROI BRASIL, Informes de la Construcción Vol. 31, nº 304 octubre de 1978.





Vigas Cajón Prefabricadas (Vano central)

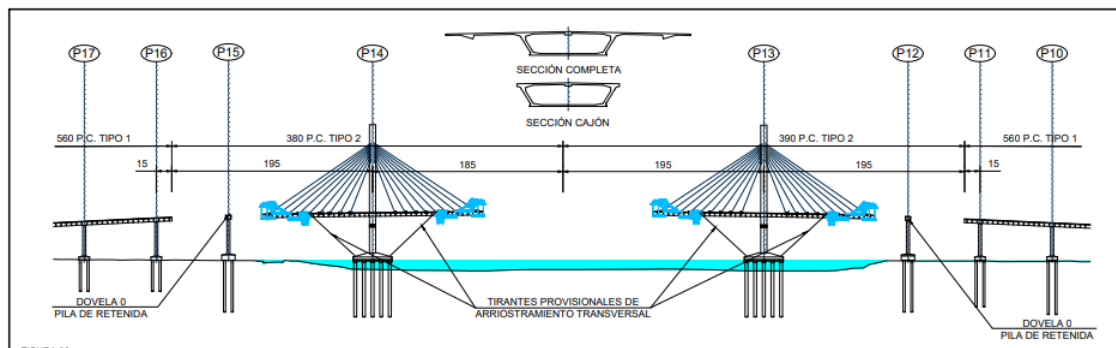
Fuente: EL PUENTE RÍO DE JANEIRO- NITEROI BRASIL, Informes de la Construcción Vol. 31, nº 304 octubre de 1978.

De igual manera, el puente Costa e Silva (Brasil), cumplió con las necesidades de la comunidad, donde pasó de tener un tiempo de recorrido terrestre de 2 horas a sólo 20 minutos, para el flujo diario de aproximadamente 150.000 personas al día y de ingreso de insumos para cada una de las ciudades que conecta por vía Terrestre, Marítima y Aérea y con un proceso constructivo significativamente corto (6 años) para tener una longitud de aproximadamente 13.9 Km. Además, pasaron 30 años, para que se implementara el sistema de Atinadores Dinámicos Sincronizados (ADS) desarrollados por la COPPE, y redujeran el 80% de oscilaciones que generaba por su gran altura y longitud, que era gran objeto de miedo para los usuarios el cruzar el puente, hoy día su comunidad está satisfecha con los beneficios que esto generó a su comunidad.

Por otro lado, el puente Pumarejo presenta una longitud de 3.2 Km (20% de la longitud del puente Costa e Silva (Brasil)), su tiempo de construcción fue de 4 años y presenta un sistema estructural atirantado en el tramo central, disponiendo de un vano de 380 metros entre los pilones de 125 metros de altura, con un tablero que está conformado por un ancho total de 38.1 metros y una placa de espesor de 0.25 metros, la cual aumenta a 0.55 metros adyacentes a los pilones, contando con una cimentación profunda de pilotes con longitudes que van entre los 35 a los 55 metros. La ejecución del tramo central se llevó a cabo, mediante voladizos sucesivos simétricos, desde los pilones hacia los viaductos de acceso. La elaboración del tablero se inició empotrando provisionalmente con dados de hormigón y cables pretensados anclados en la cabecera del pilón, este empotramiento estabilizada el tablero hasta alcanzar el primer tirante situado a 22.5 metros del eje del tablero. Así como lo indicó Juan Pablo Durán, director en toda la ejecución del proyecto: “el puente es tan espectacular y monumental que no podía realizarse con sistemas que se



encuentran habitualmente en el mercado. Todo ha sido pensado, fabricado y diseñado especialmente para esta obra”, permitiendo el desarrollo portuario al ser una obra representativa de la región Caribe y una de las obras más importantes para el desarrollo urbanístico de Colombia, según el artículo “Por estas razones el Puente Pumarejo es único en Colombia” de la revista semana.



Proceso constructivo del tramo atirantado del nuevo Puente Pumarejo

Fuente: Revista Núm. 195 (2020): Ingeniería Civil, 195. (s/f). Cedex.es. Recuperado el 6 de diciembre de 2023

Finalmente, con base en la investigación independiente de cada uno de los puentes, se genera un cuadro comparativo con los aspectos más representativos para la descripción del sistema estructural en las zonas críticas de luz máxima.

DESCRIPCIÓN	PUENTE COSTA E SILVA (RIO DE JANEIRO- NITEROI, BRASIL)	PUENTE PUMAREJO (BARRANQUILLA-SANTA MARTA, COLOMBIA)
AÑO DE INAUGURACIÓN	1974	2019
TIEMPO DE EJECUCIÓN	4 AÑOS	6 AÑOS
SISTEMA ESTRUCTURAL	VIGA CAJÓN CONTINUA MIXTA (CONCRETO Y ACERO)	VIGA CAJÓN DE HORMIGÓN CON ATIRANTAMIENTO CENTRAL
LONGITUD TOTAL	13290 metros	2173 metros
LONGITUD LUZ MÁXIMA	300 metros	380 metros
ALTURA MÁXIMA	75 metros	80 metros
MATERIAL EN ZONA DE LUZ MÁXIMA	ELEMENTOS METÁLICOS PREFABRICADOS	CONCRETO PRETENSADO
ANCHO MÁXIMO TABLERO	25.9 metros	38.1 metros
SISTEMA UTILIZADO PARA CONTRARRESTAR	ATENUADORES DINÁMICOS SINCRONIZADOS (ADS)	AJUSTE EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL CON LA

MOVIMIENTOS GENERADOS POR VIENTOS		REDUCCIÓN DEL PERIODO DE RETORNO
En las siguientes imágenes aéreas se pueden identificar al día de hoy, la construcción de los puentes Costa e Silva (Brasil) y Pumarejo (Colombia).		
		
<i>Puente Costa e Silva, Tramo central</i> <i>Fuente:</i> https://www.youtube.com/watch?v=ZLrk5AQ01_g		<i>Puente Pumarejo Colombia</i> <i>Fuente:</i> https://www.cfcsl.com/en/inaugurado-el-puente-de-pumarejo-en-barranquilla-colombia-proyecto-de-cfcsl-contruccion-de-sacyr/

10. Conclusiones

Se identificó que el puente Presidente Costa e Silva en Rio de Janeiro Brasil, en su vano central, donde se presenta la luz máxima, se construyó por medio de un sistema estructural de dos vigas cajón gemelas prefabricadas en acero de longitudes de 176, 292 y 44 metros para una longitud total de ensamblaje hasta los 848 metros distribuidos en tres vanos para así ser conectados con los demás elementos en concreto del puente. Así mismo, el puente Pumarejo en Colombia, se construyó con un sistema en viga cajón y en su luz máxima se construyó un sistema atirantamiento en una longitud de 770 metros, para permitir realizar luces de mayor extensión y de gran altura en zonas críticas.

Se realizó la comparación entre los sistemas y elementos estructurales de cada puente, identificando que el sistema adoptado en su luz máxima por el puente Costa e Silva (Brasil) es un sistema de menor complejidad constructiva y con una elaboración más rápida, en comparación con la construcción del sistema atirantado del puente Pumarejo. Además, el tiempo de construcción de los dos proyectos, y a pesar de que el puente Pumarejo (Colombia), se ejecutó en 6 años, este es sólo un 20% de la longitud total de puente Costa e Silva (Brasil), el cual se

demoró 4 años (2 años menos que el Puente Pumarejo), siendo evidente que se construyeron en épocas diferentes de la construcción.

Se concluye que, en el Puente Pumarejo, se realizó su diseño basado en su construcción en el Río Magdalena teniendo en cuenta el diseño de los elementos con la norma CCP14, debido a sus condiciones con zonas de movimiento sísmico alto, en comparación a las zonas de Brasil, país el cual no se encuentra en los bordes de ninguna placa tectónica y de por sí, se encuentra en zonas bajas de amenaza sísmica.

Se determinó que en el puente Costa e Silva (Brasil), se utilizó el sistema de Atenuadores Dinámicos Sincronizados (ADS) en el interior de las vigas cajón prefabricadas, creados por el centro de investigación COPPE de la UFRJ, el cual redujo hasta en un 80% las oscilaciones que se generaban en la zona de luz máxima. También, en el puente Pumarejo (Colombia), se optó por bajar la carga del viento y oscilaciones con la estimación de periodo de retorno de 1000 años, que sigue siendo muy conservadora, y que permite que la aprobación de las dimensiones y elementos construidos en él.

11. Referencias

Mínimo de 3 referencias y máximo de 5 referencias.

E - UFRJ. (2023, 14 septiembre). *COPPE desenvolve atenuadores para a Ponte Rio-Niterói - COPPE - UFRJ*. <https://coppe.ufrj.br/planeta-coppe/coppe-desenvolve-atenuadores-para-a-ponte-rio-niteroi/>

Guimaraes, L. (2023, 3 febrero). Puente Río-Niterói: patrimonio de Brasil. *Construcción Latinoamericana*. <https://www.construccionlatinoamericana.com/news/puente-rio-niteroi-patrimonio-de-brasil/8026429.article>

EL PUENTE RÍO DE JANEIRO- NITEROI BRASIL, (1978), *Informes de la Construcción* Vol. 31, n° 304 octubre de 1978 (s/f). Csic.es. de <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion>

Núm. 195 (2020): *Ingeniería Civil*, 195. (s/f). Cedex.es. Recuperado el 19 de diciembre de 2023, de <https://ingenieriacyil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/issue/view/144>

Fernandez, C (2020, 19 mayo). *The Pumarejo Bridge was inaugurated in Barranquilla, Colombia. CFCSL Project. Sacyr Construction. - CFCSL. CFCSL*. <https://www.cfcsl.com/en/inaugurado-el-puente-de-pumarejo-en-barranquilla-colombia-proyecto-de-cfcsl-contruccion-de-sacyr/>

