

**CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA BELLAVISTA – MAZAN – SALVADOR - EL ESTRECHO  
TRAMO I: BELLAVISTA – SANTO TOMAS**

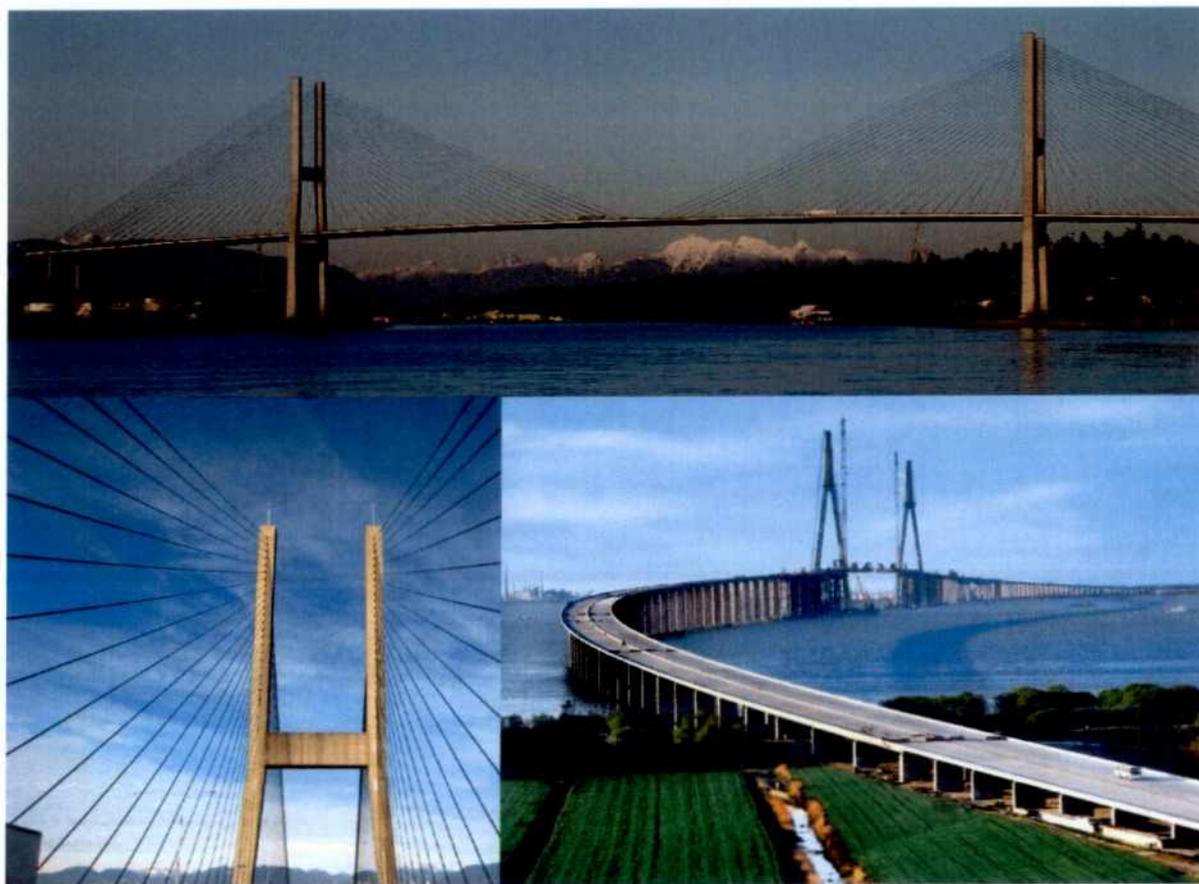
**“PUENTE NANAY y VIADUCTOS DE ACCESO”**

**INFORME FINAL**

**VOLUMEN N° 3: MEMORIA DESCRIPTIVA, ESPECIFICACIONES  
TECNICAS Y METRADOS**

**FASE 1**

**TOMO II: ESPECIFICACIONES TECNICAS**



JACK LÓPEZ Ingenieros S.A.C.



Agosto 2015

**CONSTRUCCION DE LA CARRETERA BELLAVISTA - MAZAN -  
SALVADOR - EL ESTRECHO  
Tramo I: Bellavista – Santo Tomás  
PUENTE NANAY y VIADUCTOS DE ACCESO  
ESTUDIO DEFINITIVO**

**Primera Fase – Túnel de Viento**

**ESPECIFICACIONES TECNICAS**

**CONTENIDO**

**ESPECIFICACIONES TECNICAS PARTICULARES**

**01.01 PRUEBA TUNEL DE VIENTO**

Obtener información técnica de diseño de los efectos del viento y para garantizar la estabilidad aerodinámica para un amplio rango de velocidades de viento y diferentes etapas constructivas, para garantizar el desempeño aerodinámico del puente, ante la acción del viento a la que estará sometido durante su vida útil, y así pueda prestar un servicio adecuado al tránsito vehicular y peatonal.

EL EJECUTOR para elaborar el estudio deberá tener en cuenta OBLIGATORIAMENTE como mínimo la versión vigente de las siguientes normas y Manuales:

- a. Especificaciones de diseño de la AASHTO- LRFD, (última versión).
- b. Guía de Diseño de Puentes Atirantados (ASCE).
- c. Manual de Diseño de Puentes (última versión aprobada).

**DESCRIPCION**

Los puentes atirantados por su longitud y configuración estructural, son susceptibles a problemas inducidos por la acción del viento, razón por la cual, tanto las especificaciones AASTHO LRFD y la Guía de Diseño de Puentes Atirantados (ASCE) recomiendan efectuar investigaciones aerodinámicas para fenómenos de Vorticidad del viento (Vortex shedding), inestabilidad torsional o Flutter, bataneo (Buffeting) y



aleteo (Galloping). Para investigar estos fenómenos generalmente se realizan mediante estudios de Túnel de Viento utilizando modelos a escala reducida.

El estudio se centra en la determinación de las cargas de viento de diseño y evaluación de la estabilidad aerodinámica del puente (en sus diferentes etapas constructivas) para distintas direcciones de interés e intensidades de turbulencia atmosférica. El estudio se fundamenta en los ensayos de Túnel de Viento de capa límite del modelo de sección del tablero y del puente completo. Dada la considerable flexibilidad de la estructura, esta recomendado considerar la naturaleza no estacionaria de la acción del viento y no limitar su estudio a un tratamiento estático, especialmente por las posibles turbulencias que podrían esperarse en el sitio.

Por otra parte la optimización y aseguramiento del proceso constructivo adoptado, debe estar basado en el estudio específico del túnel de viento.

Por lo tanto, de las consideraciones expuestas es recomendable un estudio específico de la acción del viento conducente al aseguramiento tanto en la etapa constructiva y la integridad de la estructura terminada, para garantizar la operatividad y confort de los vehículos y personas que transitaran por dicha infraestructura, este estudio deberá estar sustentado en los vientos registrados en el sitio. Tal estudio permitiría la optimización de los bordes del tablero, barreras y otros.

En ese contexto, se describen en forma general los objetivos y alcances para efectuar del estudio de Tunel de Viento para el puente Nanay sobre el río Nanay; no obstante estos alcances no deben considerarse limitativos. En ningún caso reemplaza al conocimiento de los principios básicos de la ingeniería y técnicas afines, así como tampoco el adecuado criterio profesional; en consecuencia El Ejecutor será responsable de la calidad del estudio encomendado.

Los servicios de estudio de Túnel de Viento se desarrollaran en dos fases:

#### Fase 1: Modelo de sección del tablero

- Análisis meteorológico específica del sitio
- Pruebas estáticas y dinámicas en un modelo de sección del tablero del puente.
- Análisis de estabilidad aerodinámica y análisis "Zarandeo" (Buffeting).



- Análisis de carga estática equivalente.

#### Fase 2: Modelo del puente completo

- Pruebas en el modelo aeroelástico, estado de construcción voladizo sucesivos antes del cierre.
- Pruebas en el modelo aeroelástico del puente completo.

#### Resumen detallado del estudio

Para obtener los resultados razonables de los estudios de Túnel de Viento, se debe efectuar a través de dos modelos; mediante un modelo de sección del tablero y del modelo completo del puente. Para el caso del modelo completo del puente, se ensayaran dos etapas críticas, i) etapa de construcción con los voladizos antes del cierre (0, 30, 60, 90 grados) y ii) estructura terminada (0, 30, 60, 90 grados)

#### Fase I

##### Investigación detallada del sitio

El ejecutor desarrollara un análisis meteorológico detallado del sitio, para evaluar las condiciones del viento esperado en la ubicación del proyecto, los datos a analizar deben estar sustentados en registros meteorológicos disponibles en las estaciones meteorológicas de la región. Los datos serán procesados y corregidos para diferentes condiciones de exposición (irregularidades del suelo, topografía, altitud sobre la superficie del suelo, etc.) en la ubicación del puente. Esta información se utilizara para efectuar las pruebas aerodinámicas y la predicción del desempeño de la estructura a escala completa.

##### Investigación del Modelo de Sección del Tablero

Para investigar el comportamiento del tablero del puente ante la acción del viento, se construirá un modelo de sección representativo a una escala geométrica aproximada de 1:35, dicho modelo deberá tener la masa y rigidez proporcional a la sección del tablero del prototipo. El modelo de sección referido se montara en un sistema elástico calibrado con las rigideces y



frecuencias a vibración vertical y torsión, simulando las características dinámicas del puente.

Para identificar claramente cualquier inestabilidad aerodinámica (fenómenos aeroelásticos de excitación por desprendimiento de vórtices, Galloping, Divergencia), se efectuarán pruebas en el modelo de sección del tablero bajo condiciones de cargas de viento con flujos de baja y alta turbulencia, actuando en diferentes condiciones y ángulos de incidencia.

#### i) Vórtice de Excitación y Estabilidad Aerodinámica

Los rangos de velocidades de viento y las amplitudes de las respuestas de flexión y/o torsión debido a los vórtices de excitación se medirán usando modelos con apoyos elásticos e incrementando lentamente la velocidad del viento y registrando su respuesta dinámica. La velocidad crítica para iniciar la estabilidad aerodinámica se medirá en el modelo del tablero apoyado elásticamente incrementando lentamente la velocidad del viento hasta que se observe la inestabilidad.

La respuesta estática y dinámica de la sección se registrará para entre 30 a 50 tipos de velocidades de viento particulares para propósitos de investigación.

Las pruebas dinámicas se desarrollarán para las siguientes configuraciones del tablero:

Condición de Flujo	Coefficiente de Amortiguamiento	Casos de ensayos
Suave	0.5%, 0.8%	2
Turbulento	0.8%	1
	<b>Total</b>	<b>3</b>

#### ii) Estado de estabilidad de los coeficientes de Carga de Viento

Los coeficientes del estado estacionario, arrastre y de momento serán medidos para diferentes ángulos de ataque, que estén en el rango de  $-10^\circ < \alpha < +10^\circ$ , con incrementos de  $1^\circ$ . La sensibilidad de los coeficientes de carga del número de Reynolds serán verificados mediante la extensión de las pruebas procesadas con un ángulo de ataque de  $0^\circ$ . Las pruebas deben efectuarse bajo dos condiciones de viento de baja y alta turbulencia.

Las cargas estáticas se desarrollaran para las siguientes configuraciones y condiciones de flujo:

Condición de Flujo	Angulo de Ataque
Suave y Turbulento	-10° a +10° en incrementos de 1° (dos velocidades)
Suave	0° (Múltiples velocidades para verificar la independencia de velocidades)

### iii) Mediciones Aerodinámicas Derivadas

### iv) Análisis del Bataneo por Carga Estática Equivalente

Se evaluara los efectos de bataneo debido a la acción del viento utilizando el modelo de sección del tablero, asimismo, se realizara un análisis numérico de dicho efecto (bataneo), con fines de realizar algunos ajustes teóricos a los resultados de las pruebas para reflejar las formas de modo, amortiguamiento estructural esperado y las características de turbulencia del sitio. En esta parte se obtendrán: a) las amplitudes estimadas del movimiento de la sección transversal del tablero del puente debido al bataneo por turbulencia, b) se estimara la carga estática de viento equivalente en la sección transversal del puente.

Además se realizara una análisis y evaluación para una etapa constructiva intermedia (estado de construcción en voladizo balanceado), así como para el puente terminado.

## Fase II

### Modelo Aeroelastico Completo

Las pruebas serán en un modelo completo de aeroelastico del puente prototipo. Por su longitud y configuración estructural, se considera que el puente Nanay pueda ser sensible ante los efectos del viento bajo ciertas condiciones, por lo

tanto, es necesario investigar su desempeño aerodinámico sobre un rango de velocidades de viento que incluyan turbulencias representativas, tomando en cuenta la influencia de los factores externos, tales como la topografía de la zona, las estructuras adyacentes, los cuales influyen en el comportamiento del viento sobre el puente.

Todos estos efectos, deben ser estudiados experimentalmente en un Túnel de Viento, para tal efecto, se deberá diseñar y construir un modelo aeroelástico del puente completo a una escala geométrica aproximada de 1:150. La respuesta en su etapa constructiva en voladizo antes del cierre es un objetivo importante del estudio en esta etapa, así como de la estructura completa.

Los apoyos y rigideces del tablero en el modelo el tablero serán controlados a través de un sistema elástico calibrado con las rigideces y frecuencias a vibración vertical y torsión. La masa del tablero debe corresponder a la del puente en escala completa, asimismo, las torres se modelaran aeroelásticamente de forma similar al tablero, los cables se modelaran como elementos elásticos con diámetros apropiadamente escalados para los efectos de arrastre. Las conexiones y condiciones de borde serán adecuadamente representadas en el modelo.

La respuesta dinámica debe ser medido bajo niveles representativos de turbulencia en la dirección opuesta a los ángulos de viento horizontales, para cada configuración del puente objeto de la investigación. El rango de velocidades de viento deberá cubrir dos aspectos; la posible formación de vórtices y la inestabilidad, y debe ser suficiente para demostrar la velocidad crítica de inestabilidad aerodinámica del puente. Los cambios de frecuencia y variaciones en el ancho de banda de los picos de resonancia deberán indicar las características de masa y amortiguamiento aerodinámico. El modelo será instrumentado con galgas deformimétricas, acelerómetros y dispositivos para la medición de deflexiones durante las pruebas. La ubicación de la instrumentación debe ser previamente determinada a través de un diseño previamente elaborado.



## Pruebas

Las pruebas aerodinámicas en el modelo completo del puente deben efectuarse para dos etapas diferentes; a) etapa constructiva en voladizo con balanceo crítico, antes del cierre y b) para el modelo completo de puente. El modelo aeroelástico debe considerar los apoyos y equipamiento temporales necesarios en la etapa constructiva, dado que dichos mecanismos contribuirán en la respuesta del puente ante los efectos del viento.

Para obtener los máximos efectos en la dirección longitudinal del puente, adicional al viento normal deben efectuarse pruebas de viento considerando tres ángulos horizontales diferentes. Además deberán de incluirse las características topográficas relevantes y las construcciones cercanas que puedan tener influencia en la respuesta aerodinámica.

En resumen, las mediciones a efectuarse en el modelo aeroelástico completo del puente serán:

		Condiciones de prueba	
		Pruebas – turbulencia bajo condiciones de flujo	Pruebas - flujo de capa límite turbulenta (turbulencia sitio previsto)
1	Construcción etapa 1 doble voladizo	Azimut = 90° (perpendicular al eje del puente)	Azimut = 0°, 30°, 60°, 90°
2	Construcción etapa 2 Puente terminado	Azimut = 90° (perpendicular al eje del puente)	Azimut = 0°, 30°, 60°, 90°

Nota: 90° se define como viento perpendicular al eje del puente.

## Información estructural para el diseño de los modelos

Para el diseño e implementación de los modelos de sección del tablero y del modelo completo del puente, que serán investigados mediante los estudios de Tunel de Viento, se proporcionará: i) Planos de geometría y detalles estructurales del tablero del puente, los pilones (torres de concreto armado), cables, etc., y ii)

resultados del análisis dinámico completo del puente (frecuencias y formas de modo) en cada una de sus etapas constructivas para ser evaluados en las pruebas.

## MEDICION

La Prueba de Túnel de Viento, se medirá en forma global (GLB)

El Ejecutor preparará y presentará los Informes requeridos, en original y una copia más CD dentro de los plazos que a continuación se detallan:

INFORMES	Plazo
INFORME N°01	30 días calendario de iniciado el servicio
INFORME N°02 – Fin 1ra parte	60 días calendario de iniciado el servicio
INFORME N°03	90 días calendario de iniciado el servicio
INFORME N°04	120 días calendario de iniciado el servicio
INFORME N°05 - Fin a 2da parte	150 días calendario de iniciado el servicio
INFORME N°06 – Implementación	210 días calendario de iniciado el servicio

## CONTENIDO DE CADA UNO DE LOS INFORMES

### Informe N° 01

El ejecutor presentara un informe parcial, que tenga información básica al término de la fabricación del modelo de sección, así como información del estudio meteorológico de la zona de estudio.

### Informe N° 02

Los resultados de los ensayos en el modelo de la sección del tablero y el análisis de bataneo se documentaran en un informe parcial, el cual debe contener todos los detalles de diseño de la sección, los procedimientos desarrollados y las observaciones importantes efectuadas en el transcurso de las pruebas.



El informe básicamente tendrá como resultado respuesta a los objetivos de la Fase I.

**El Ejecutor presentara el siguiente contenido:**

- a. Diseño del modelo de sección del tablero del puente
- b. Fabricación del modelo de sección del tablero del puente
- c. Pruebas completas en el modelo de sección del tablero
- d. Elaboración del informe parcial de las pruebas del modelo de sección.

### **Informe N° 03**

El ejecutor al termino del modelo de diseño aeroelástico, y al término de la fabricación del modelo completo de Aero elástico, presentará informe técnico del modelo completo.

### **Informe N° 04**

Se desarrollara conforme lo indicado en la Fase II Análisis y Reporte de Resultados

**El Ejecutor presentara el siguiente contenido:**

- a. Diseño del modelo aeroelastico completo del puente
- b. Fabricación del modelo aeroelastico completo del puente
- c. Pruebas de viento para las etapas constructivas y el modelo aeroelastico completo
- e. Informe parcial de los resultados de los ensayos para las etapas constructivas y el modelo aeroelastico completo.

### **Informe N° 05 (Informe Final)**

El contenido será el siguiente:

- a. Introducción
- b. Objetivo de los estudios de Túnel de Viento
- c. Una memoria descriptiva que incluya cada una de las pruebas efectuadas, incluyendo el diseño de los modelos y las características del túnel de viento; fotografías que muestren los detalles de los modelos y las instalaciones del túnel de viento, video-DVD de las partes más relevantes de las pruebas.



- d. Presentación y discusión de los resultados de las pruebas de Túnel de Viento, los cuales deben estar sustentados en forma analítica y gráfica.
- e. Análisis e interpretación de resultados de los ensayos; prediciendo el comportamiento de la estructura a escala completa, para los efectos de estabilidad dinámica, excitación por Vortex, respuesta al efecto bataneo (Buffeting).
- f. Conclusiones y Recomendaciones para implementar en el proyecto de ingeniería (prototipo)

El informe deberá incluir un panel fotográfico que muestre los detalles de los modelos elaborados, y las partes relevantes de los ensayos de Túnel de Viento. Asimismo deberá incluir un video (DVD) de las partes relevantes de los ensayos

#### PAGO

Las cantidades medidas y aprobadas serán pagadas al precio de contrato. El pago constituirá compensación total por los trabajos prescritos en esta sección.

El pago de la prueba se realizará de acuerdo al siguiente criterio:

DESCRIPCION	% VAL
INFORME N°01	10%
INFORME N°02 - Fin 1ra parte	20%
INFORME N°03	20%
INFORME N°04	20%
INFORME N°05 - Fin 2da parte	30%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>



Partida	Unidad de Pago
Prueba de Túnel de Viento	Global (Glb)

## 01.02 ELABORACIÓN DE INFORME TÉCNICO

### DESCRIPCION

El ejecutor de obra, dentro del plazo programado siguiente a la entrega del informe final de la Prueba de Túnel de Viento, con los resultados obtenidos, implementara las recomendaciones del estudio desarrollado, y elaborará los documentos técnicos correspondientes a nivel de planos, memoria de cálculo, especificaciones técnicas y el presupuesto de obra de corresponder. El documento técnico (cuantificado a nivel de presupuesto) en adición a toda la información técnica, debe tener opinión del proyectista del proyecto, evaluación y opinión de la supervisión, opinión e informe de la entidad contratante y otros documentos necesarios que respalden el documento técnico a nivel de presupuesto.

### MEDICION

El trabajo por este concepto se medirá en forma global (GLB)

### FORMA DE PAGO

Las cantidades medidas y aprobadas serán pagadas al precio de Contrato. El pago constituirá compensación total por los trabajos prescritos en esta sección.

Partida	Unidad de Pago
Elaboración de informe técnico	Global (Glb)

