



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRESENTACION DEL TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO CIVIL

“DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL
RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA
ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO”



AUTOR:

- HENRY ALEXANDER VINUEZA ELIZALDE

DIRECTOR:

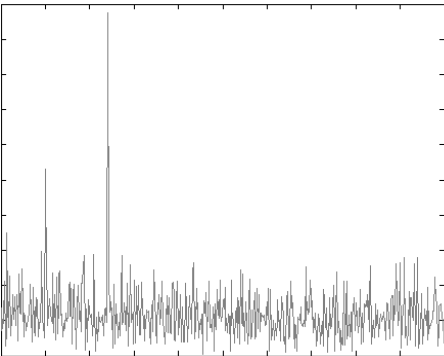
- ING. PABLO ENRIQUE CAIZA SANCHEZ PhD

FEBRERO DE 2017

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

CONTENIDO

- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES



DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



INTRODUCCION

UBICACIÓN DEL PUENTE SAN PEDRO

- Se ubica sobre el río San Pedro, en el cruce con la autopista General Rumiñahui aproximadamente a 400 metros del puente peatonal #9, en la entrada a San Rafael junto al colegio Farina, en el Valle de los Chillos.



INTRODUCCION

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

MODELO ANALITICO

INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

ANALISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



INTRODUCCION

DEFORMACION DEL PUENTE SAN PEDRO

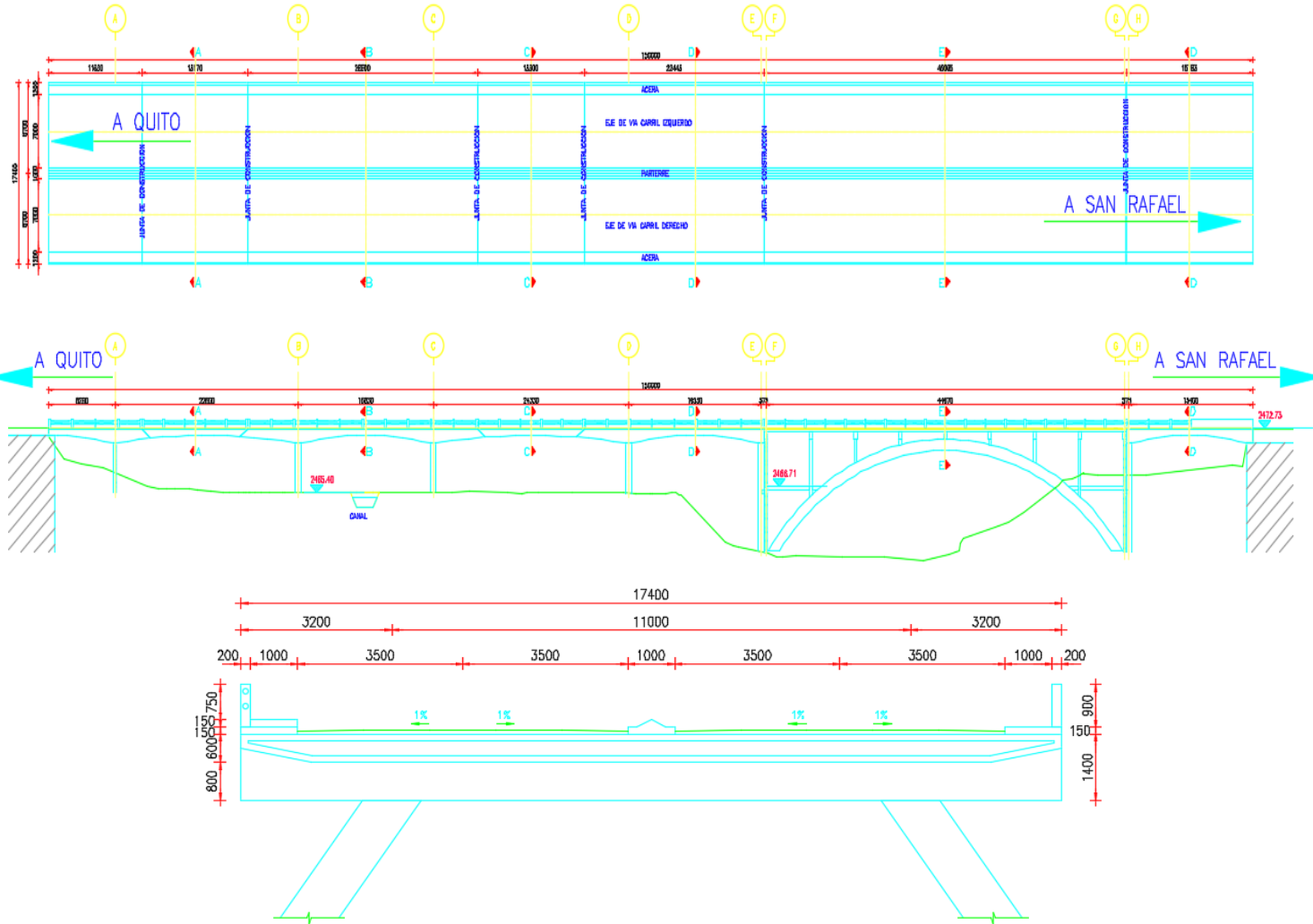


- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

PUENTE SAN PEDRO



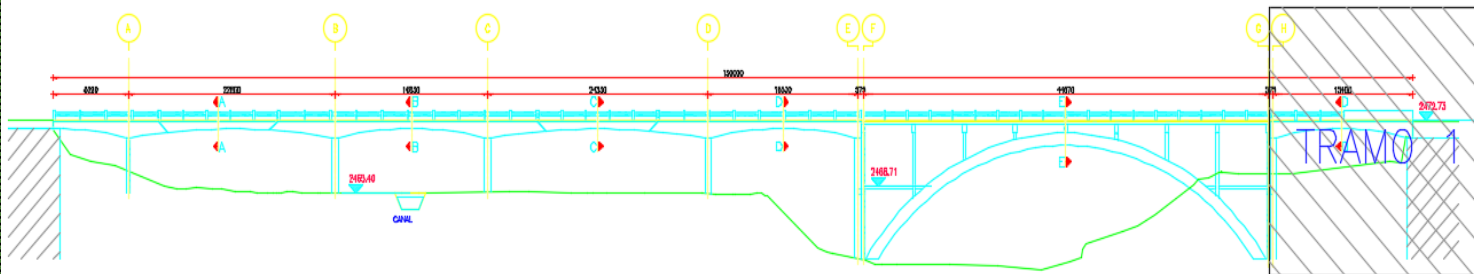
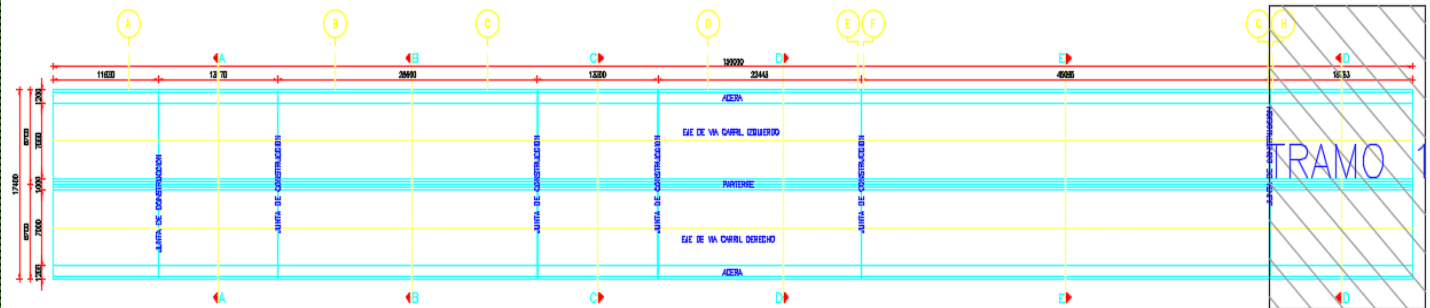
- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

TRAMO 1. PUENTE SAN PEDRO

- LONGITUD: 15.75m

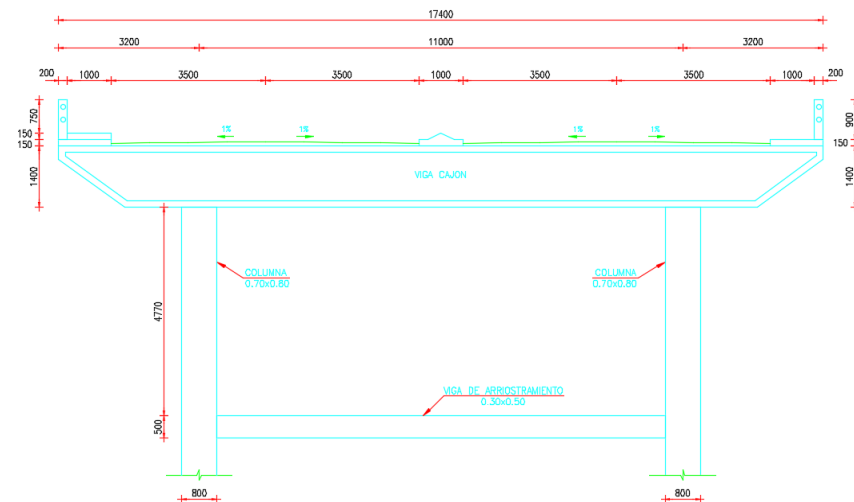
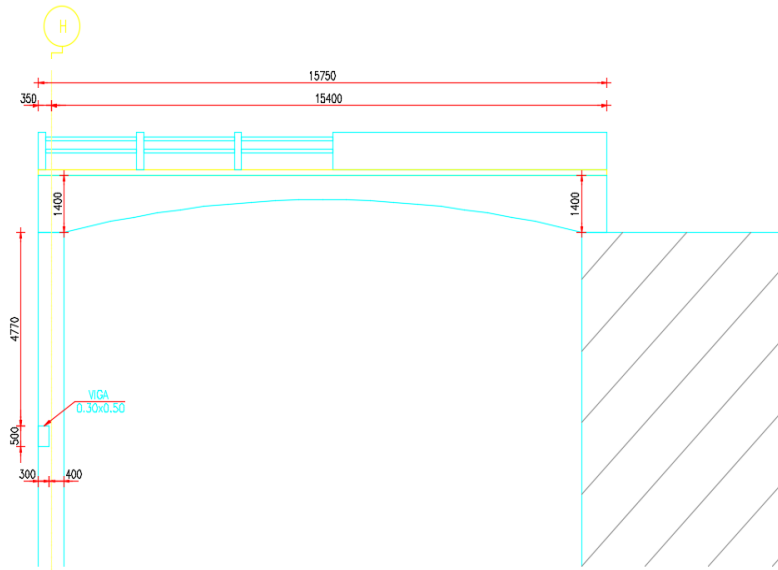


- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

TRAMO 1. PUENTE SAN PEDRO



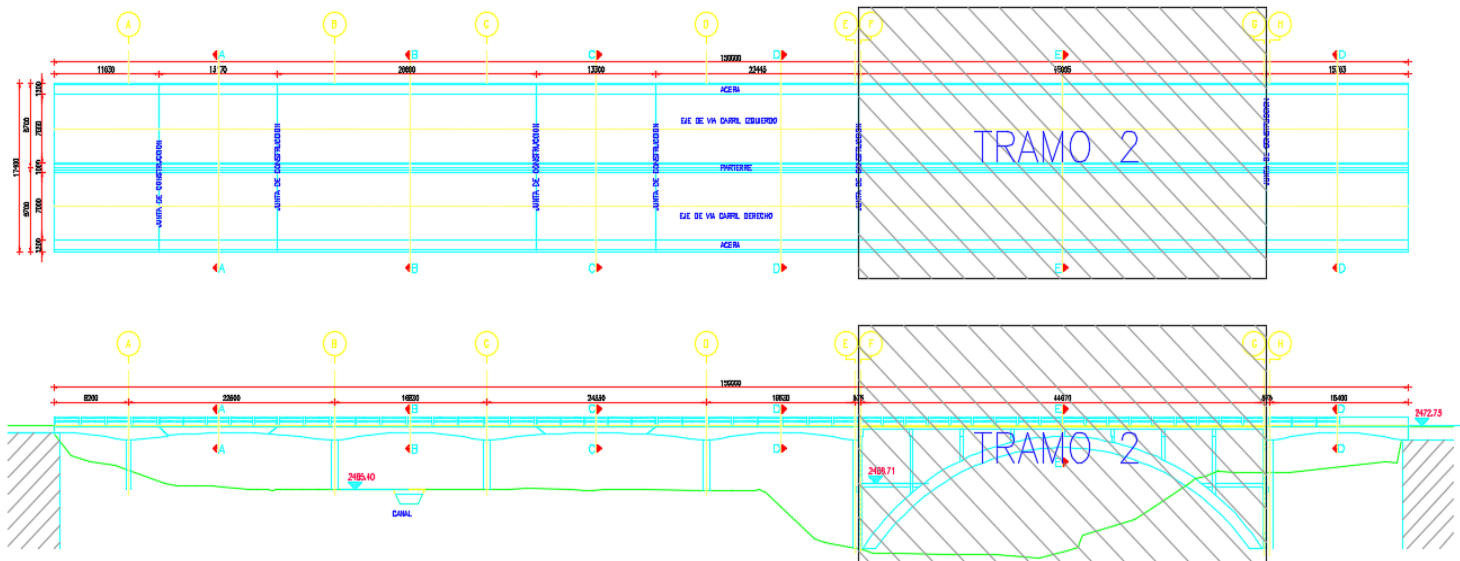
- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

TRAMO 2. PUENTE SAN PEDRO

- LONGITUD: 45.07m



INTRODUCCION

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

MODELO ANALITICO

INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

ANALISIS DE RESULTADOS

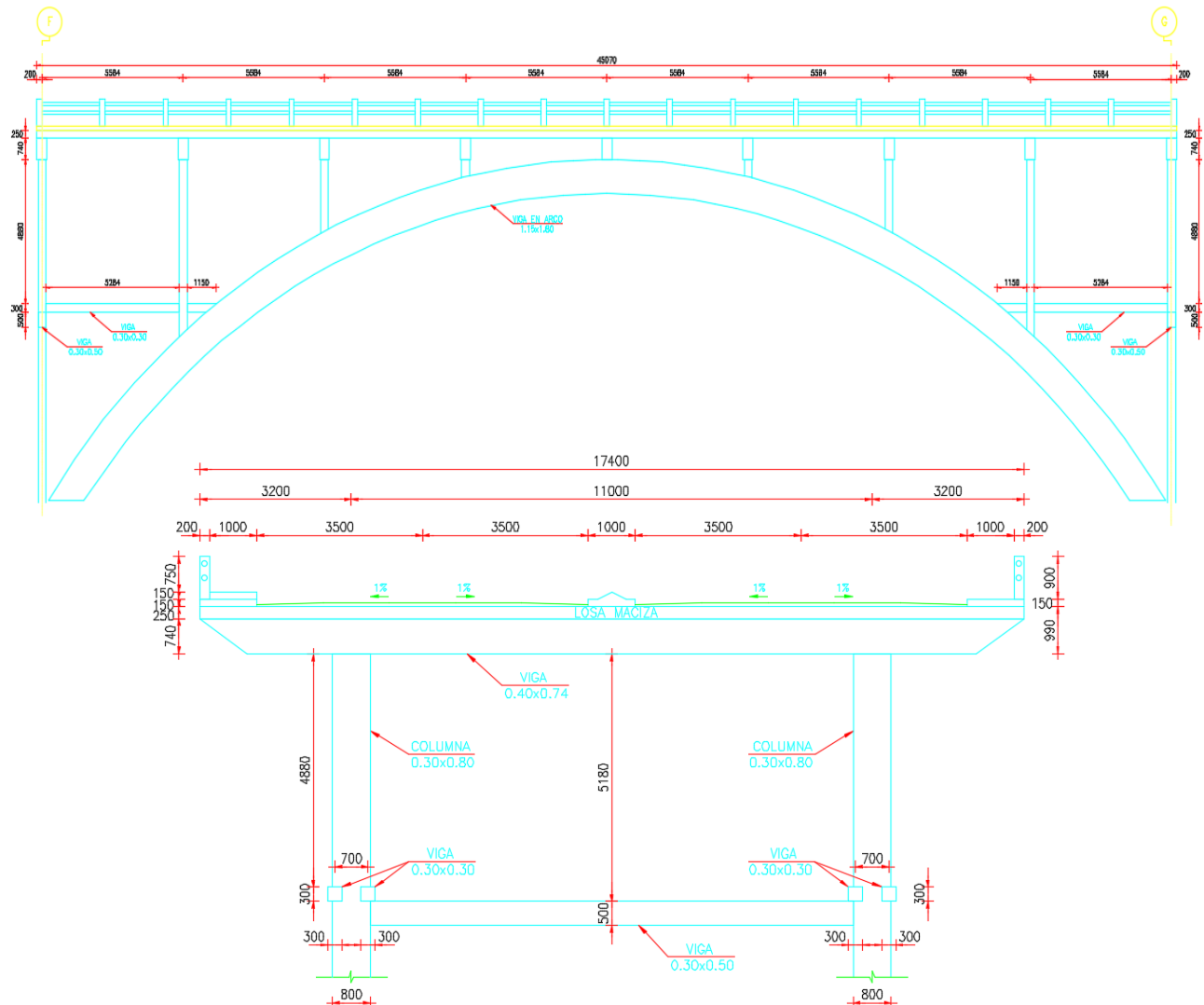
CONCLUSIONES



DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

TRAMO 2. PUENTE SAN PEDRO



INTRODUCCION

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

MODELO ANALITICO

INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

ANALISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

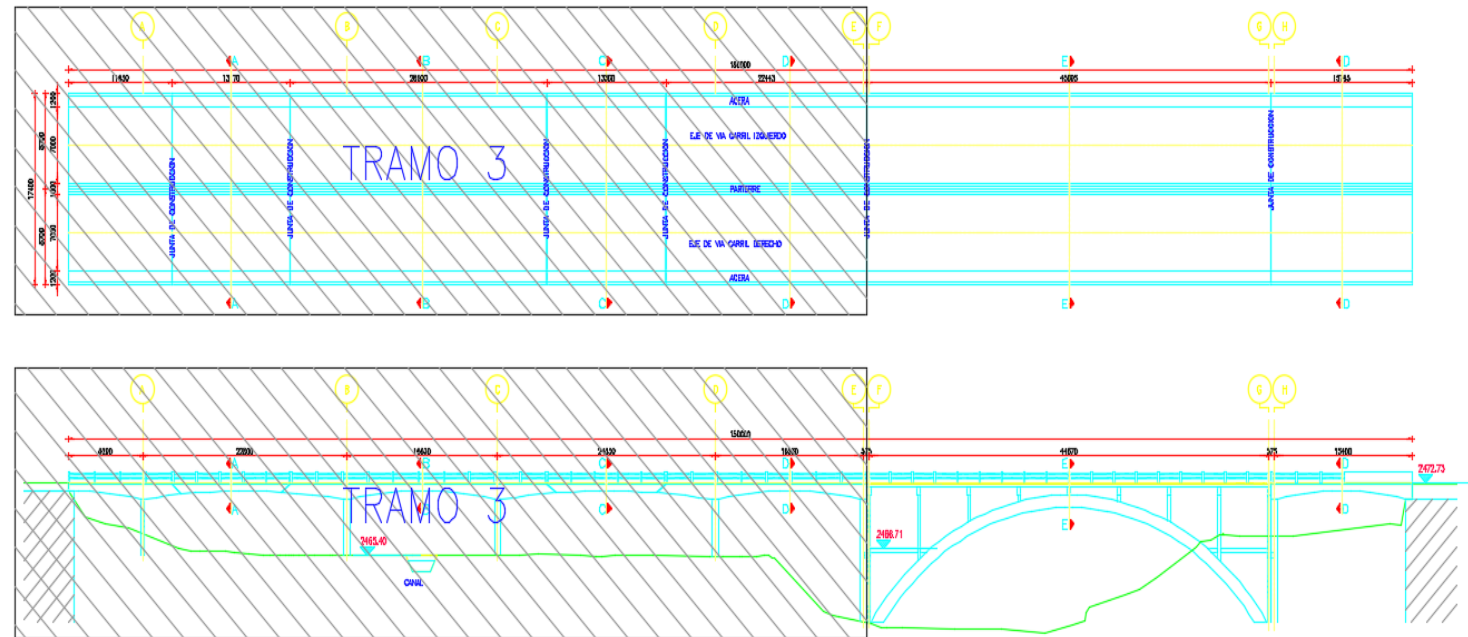
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



DESCRIPCION ESTRUCTURAL

TRAMO 3. PUENTE SAN PEDRO

- LONGITUD: 89.18m



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

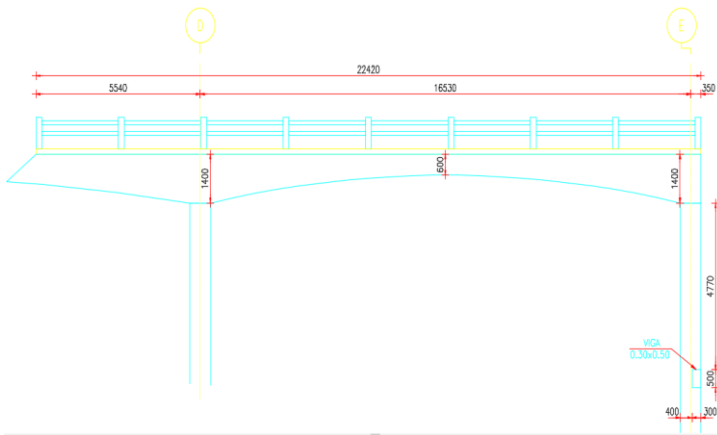
• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

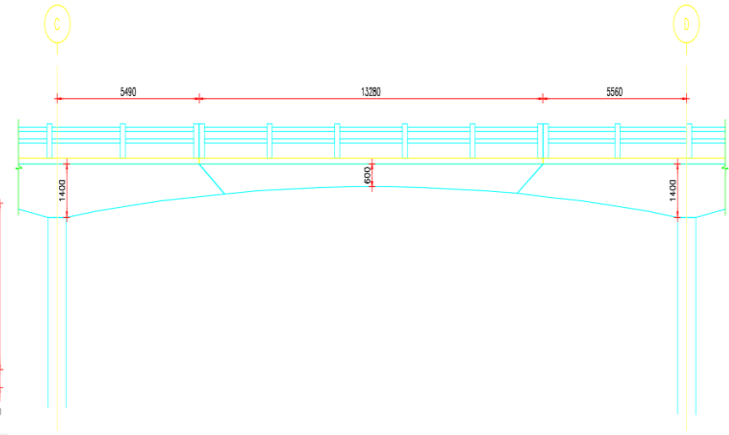
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

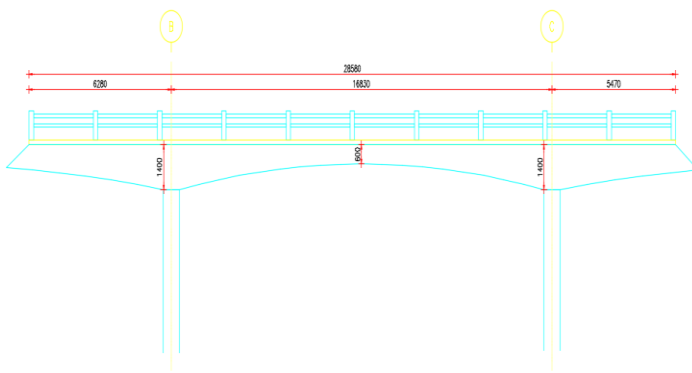
TRAMO 3.1. PUENTE SAN PEDRO



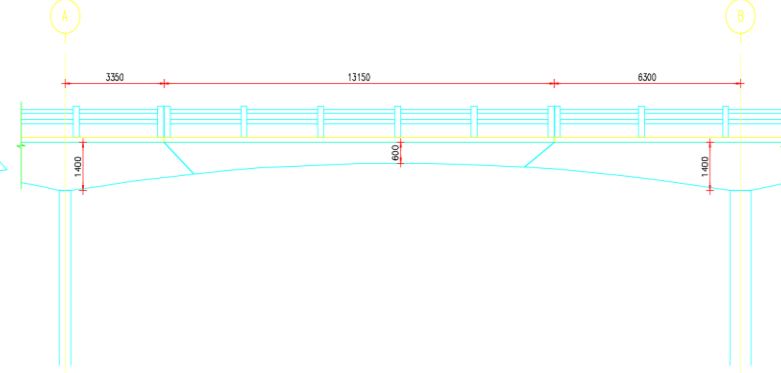
TRAMO 3.2. PUENTE SAN PEDRO



TRAMO 3.3. PUENTE SAN PEDRO



TRAMO 3.4. PUENTE SAN PEDRO



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

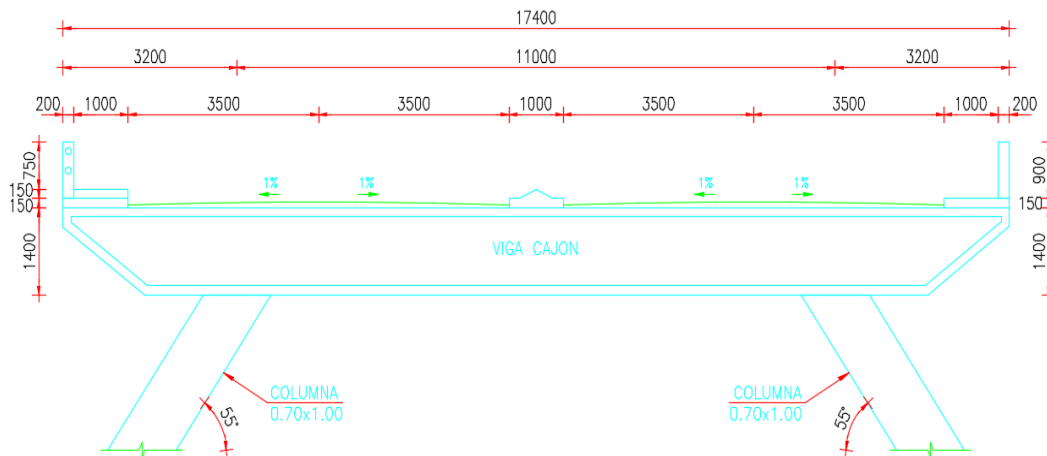
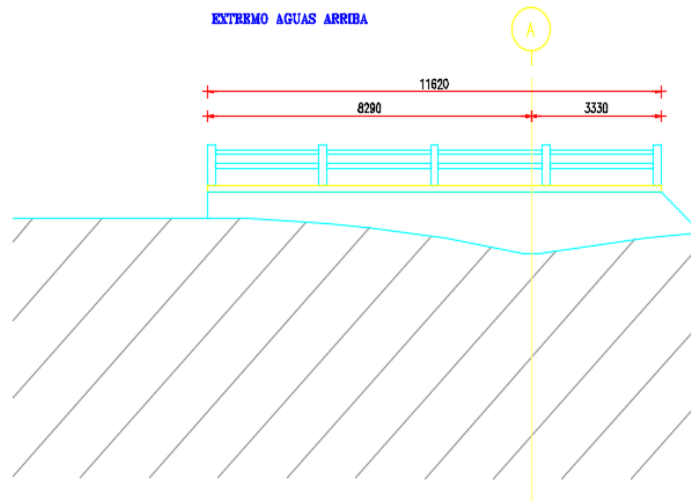
• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

DESCRIPCION ESTRUCTURAL

TRAMO 3.5. PUENTE SAN PEDRO

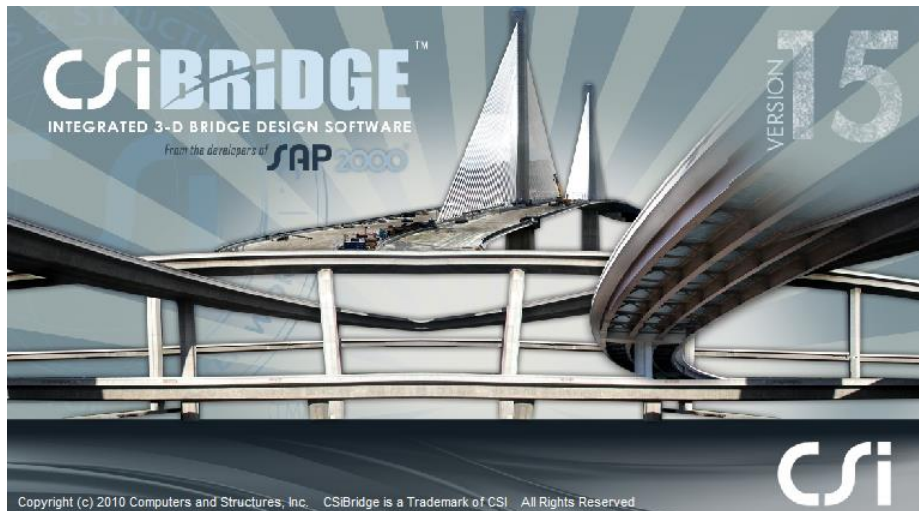


- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

MODELO ANALITICO

PUENTE SAN PEDRO



Copyright (c) 2010 Computers and Structures, Inc. CSI Bridge is a Trademark of CSI. All Rights Reserved



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

CRITERIOS DE DISEÑO

Códigos y Estándares Aplicados

- **ASTM:** American Society for Testing and Materials
- **ACI 318-05:** American Concrete Institute
- **AASHTO-LRFD:** American Association of State Highway and Transportation Official - Load and Resistance Factor Design (2007)
- **NEVI-12:** Norma Ecuatoriana de Vialidad
- **NEC-15:** Norma Ecuatoriana de la Construcción

Resistencia de los Materiales

- **Hormigón:**
 - $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Para elementos Estructurales)
- **Acero de Refuerzo:**
 - $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ASTM A615 Grado 60

Propiedades de los Materiales

- **Peso Específico:**
 - Hormigón Simple (W_c) = 2200 kg/m^3
 - Hormigón Armado (W_c) = 2400 kg/m^3
 - Superficie de Desgaste Futura (W_{fws}) = 2250 kg/m^3
 - **Módulo de Elasticidad del Hormigón:** $E_c = 2701472.45 \text{ T/m}^2$
 - **Coefficiente de Expansión Térmica:** $9,0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
 - **Coefficiente de Poisson:** 0.2
- $$E_c = 0.043\gamma_c^{1.5}\sqrt{f'_c}$$

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• **MODELO ANALITICO**

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

MODELO ANALITICO

• CARGAS DE DISEÑO

• Cargas Permanentes

- Protecciones
 - Columnetas
 - Barandales

• Veredas

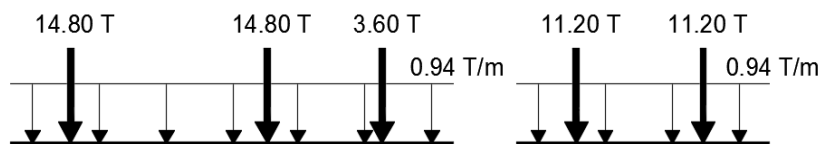
• Parterre

• Superficie de desgaste future

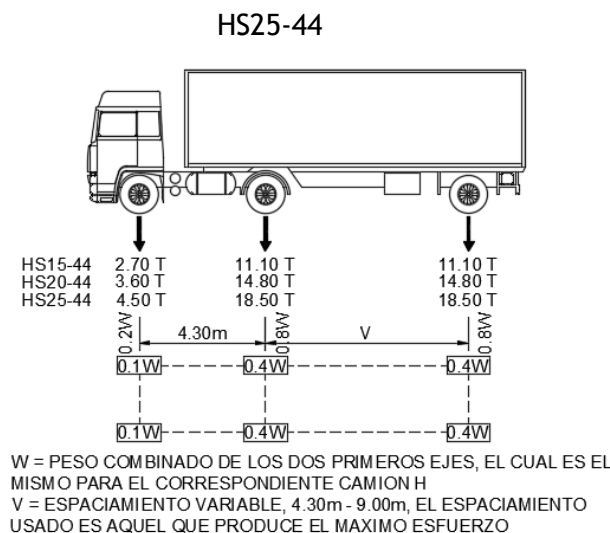
• Cargas Transitorias

• Sobrecarga Vehicular

- HL-93



• Sobrecarga Peatonal



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• **MODELO ANALITICO**

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES



DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

MODELO ANALITICO

- COMBINACIONES DE CARGAS

Combinaciones de Carga	DC									Usar uno de estos por vez				
	DD													
	DW													
	EH													
	EV	LL												
	ES	IM												
	EL	CE												
	PS	BR												
	CR	PL												
Estados Límite	SH	LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	EQ	IC	CT	C V	
RESISTENCIA I (a menos que se diga lo contrario)	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50 / 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-	
RESISTENCIA IV	γ_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50 / 1.20	-	-	-	-	-	-	
SERVICIO II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00 / 1.20	-	-	-	-	-	-	

- INTRODUCCION

- DESCRIPCION ESTRUCTURAL

- MODELO ANALITICO**

- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

- ANALISIS DE RESULTADOS

- CONCLUSIONES

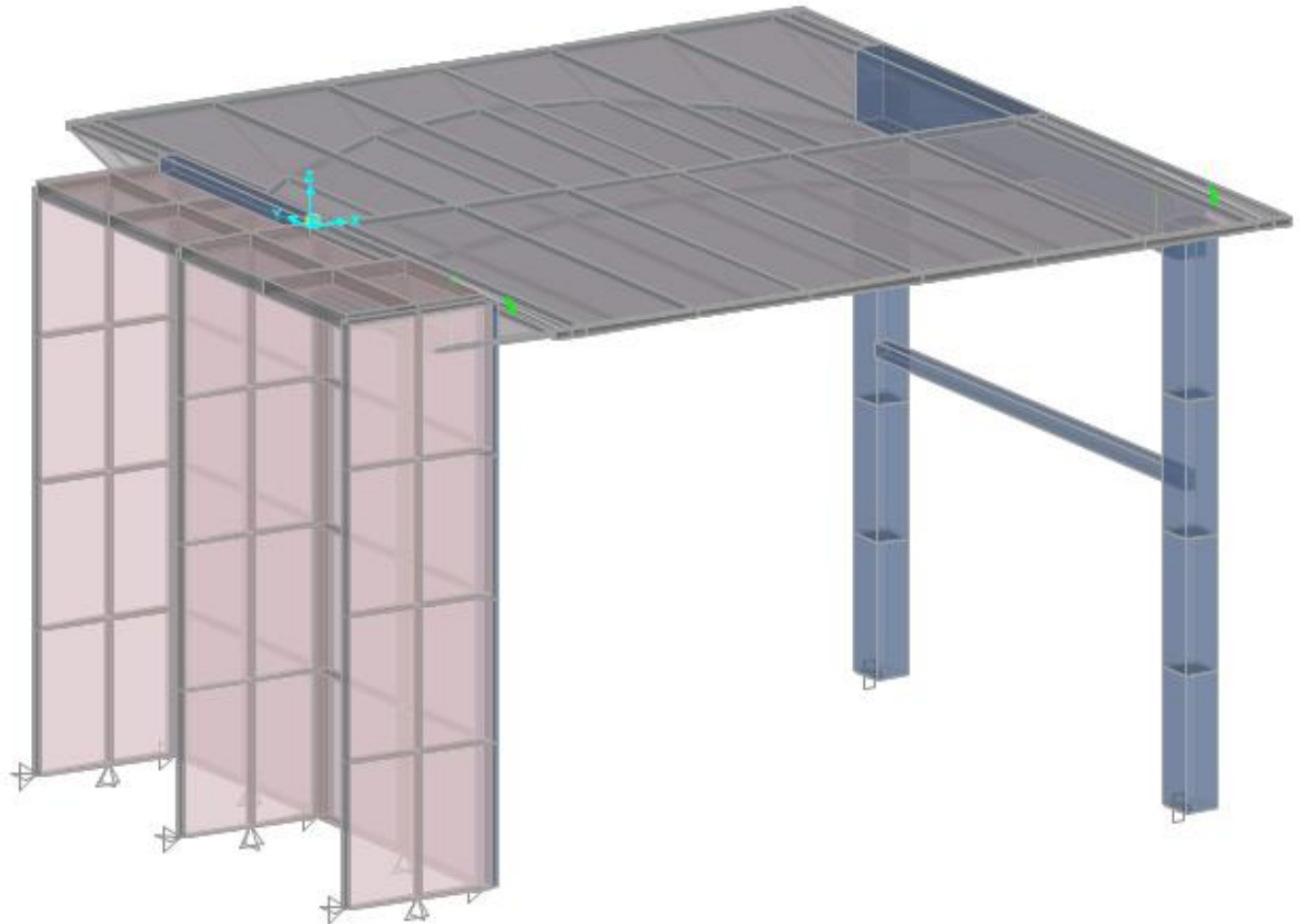
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 1 PUENTE SAN PEDRO

- LONGITUD: 15.75m



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• **MODELO ANALITICO**

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

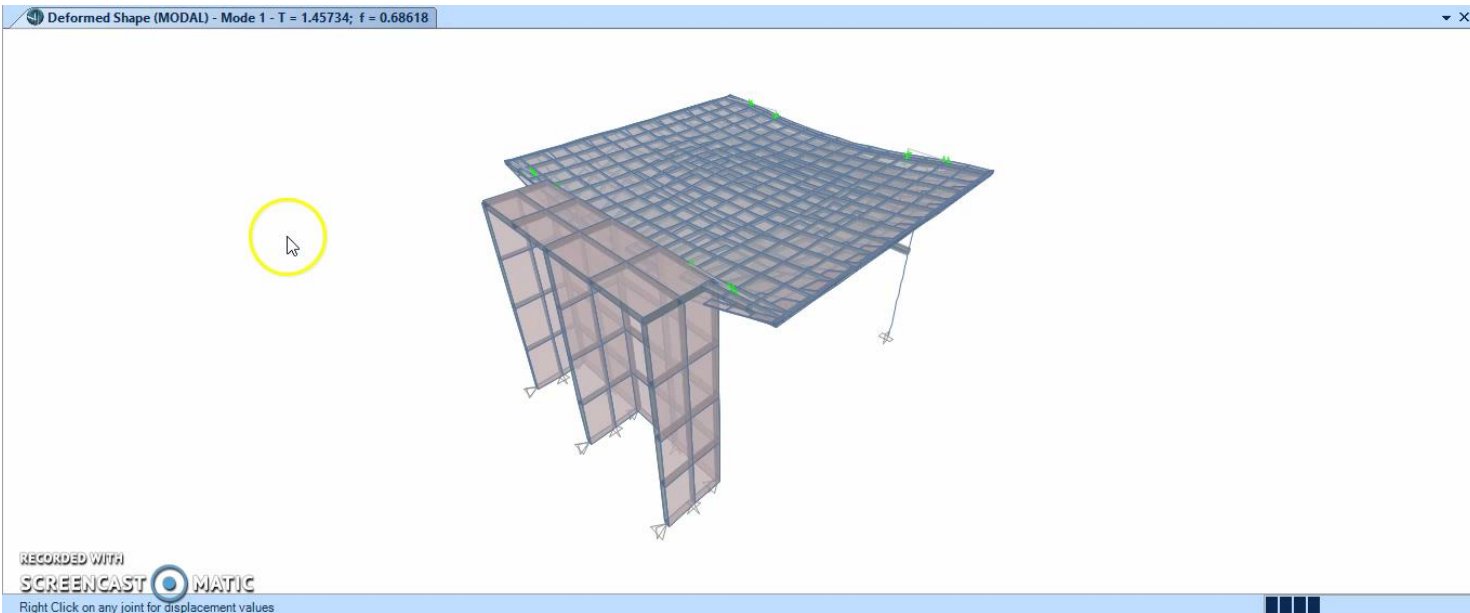
• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 1 PUENTE SAN PEDRO



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• **MODELO ANALITICO**

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

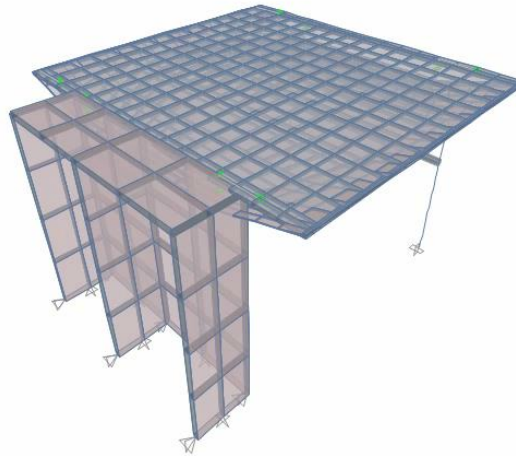
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 1 PUENTE SAN PEDRO

Deformed Shape (MODAL) - Mode 3 - T = 0.61365; f = 1.62960



RECORDED WITH
SCREENCAST.MATIC
Right Click on any joint for displacement values



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

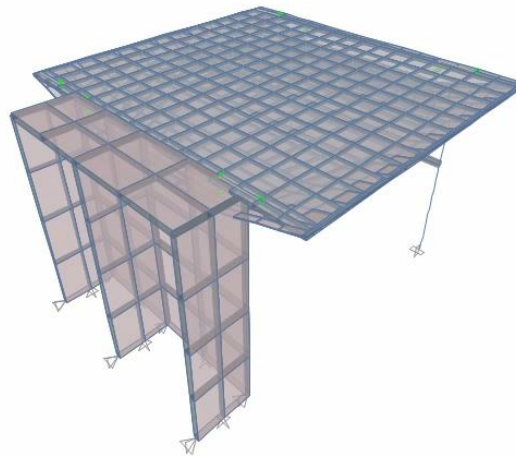
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 1 PUENTE SAN PEDRO

Deformed Shape (MODAL) - Mode 4 - T = 0.54712; f = 1.82776



RECORDED WITH
SCREENCAST MATIC
Right Click on any joint for displacement values



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• **MODELO ANALITICO**

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 1 PUENTE SAN PEDRO

PERIODOS DE VIBRACION

% RIGIDEZ	Ux		Uy		Uz	
	T	f	T	f	T	f
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
100	0.4834	2.0687	0.5643	1.7721	1.176	0.8503
75 SUP - 90 SUB	0.5286	1.8918	0.605	1.6529	1.3572	0.7368
65 SUP - 90 SUB	0.5471	1.8278	0.6136	1.6297	1.4573	0.6862
50 SUP - 85 SUB	0.5631	1.7759	0.6458	1.5485	1.6608	0.6021

- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

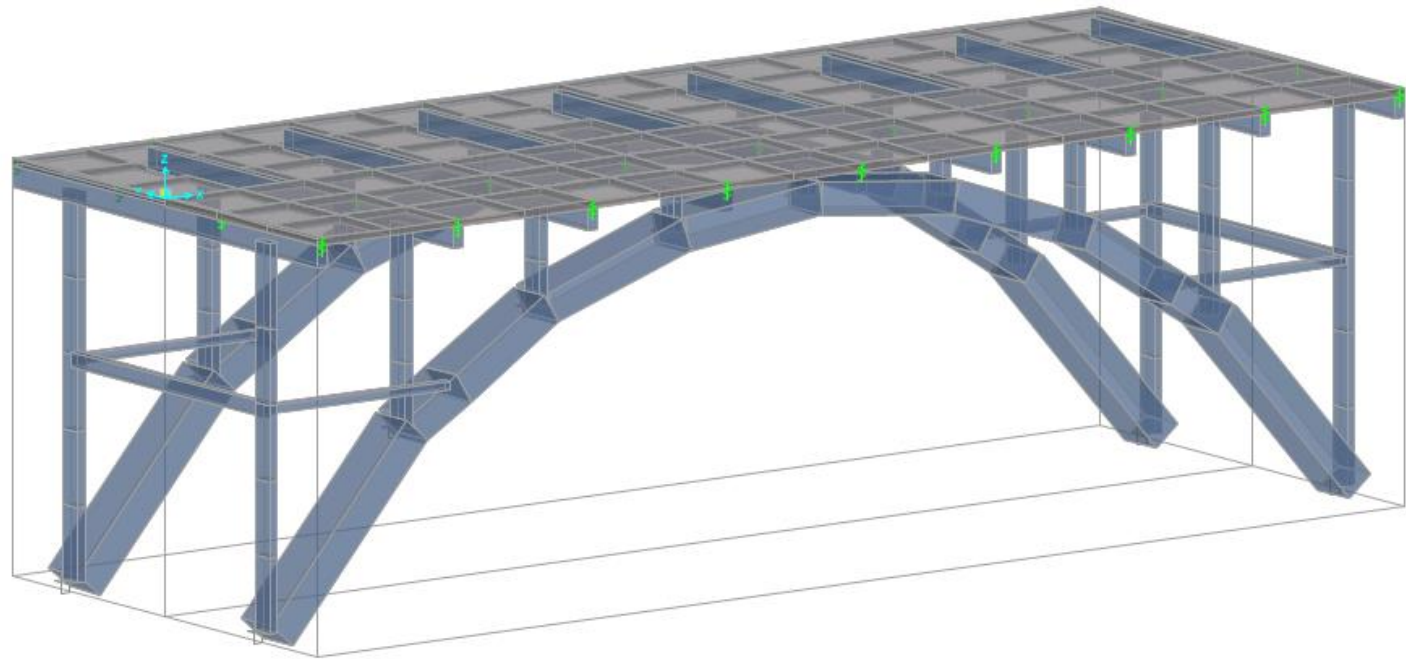
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 2 PUENTE SAN PEDRO

- LONGITUD: 45.07m



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• **MODELO ANALITICO**

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

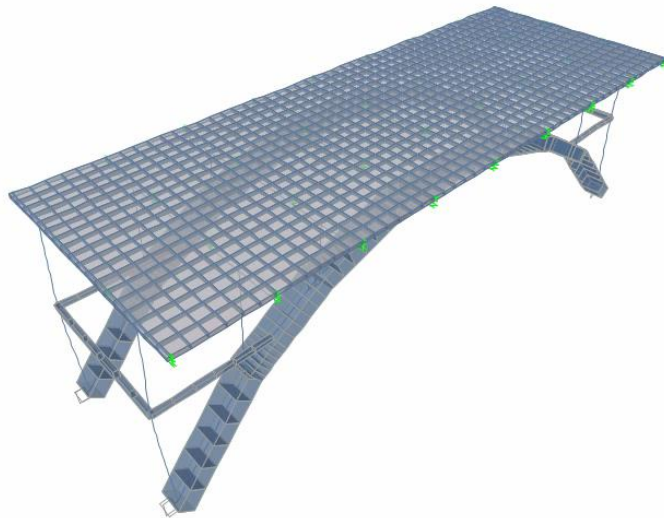
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 2 PUENTE SAN PEDRO

Deformed Shape (MODAL) - Mode 1 - T = 0.49489; f = 2.02063



RECORDED WITH
SCREENCAST MATIC
Right Click on any joint for displacement values



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

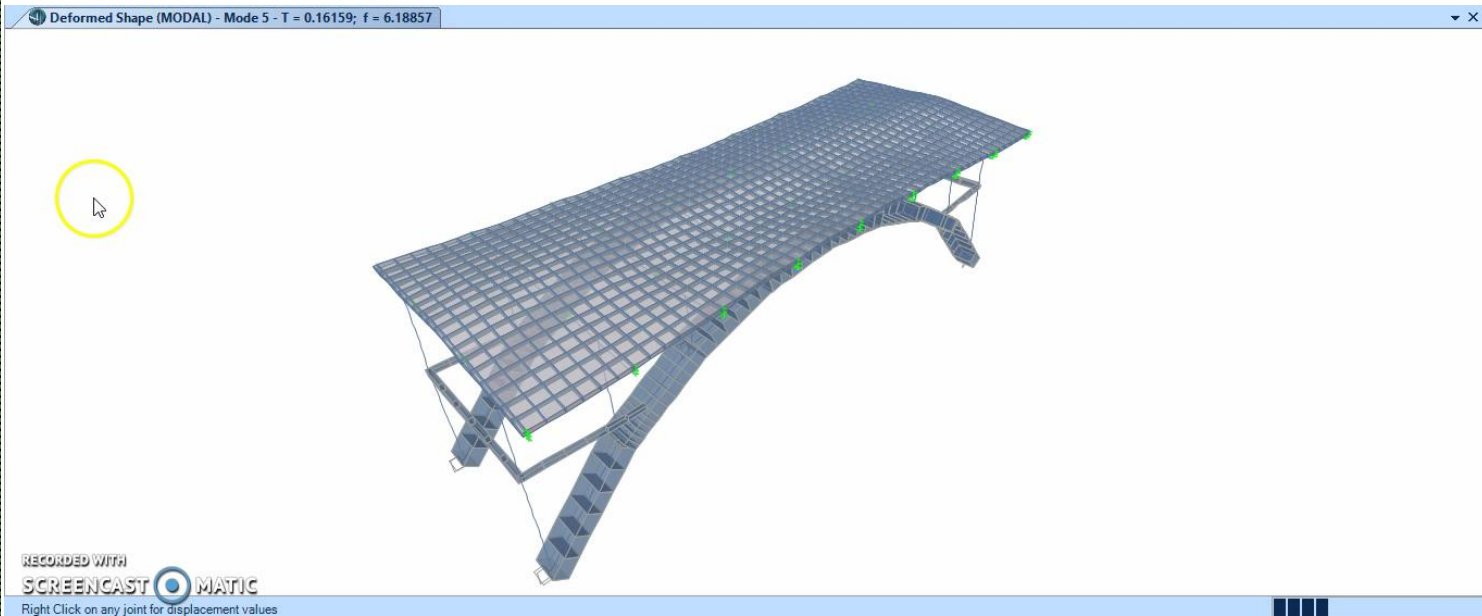
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

MODELO ANALITICO

TRAMO 2 PUENTE SAN PEDRO



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES



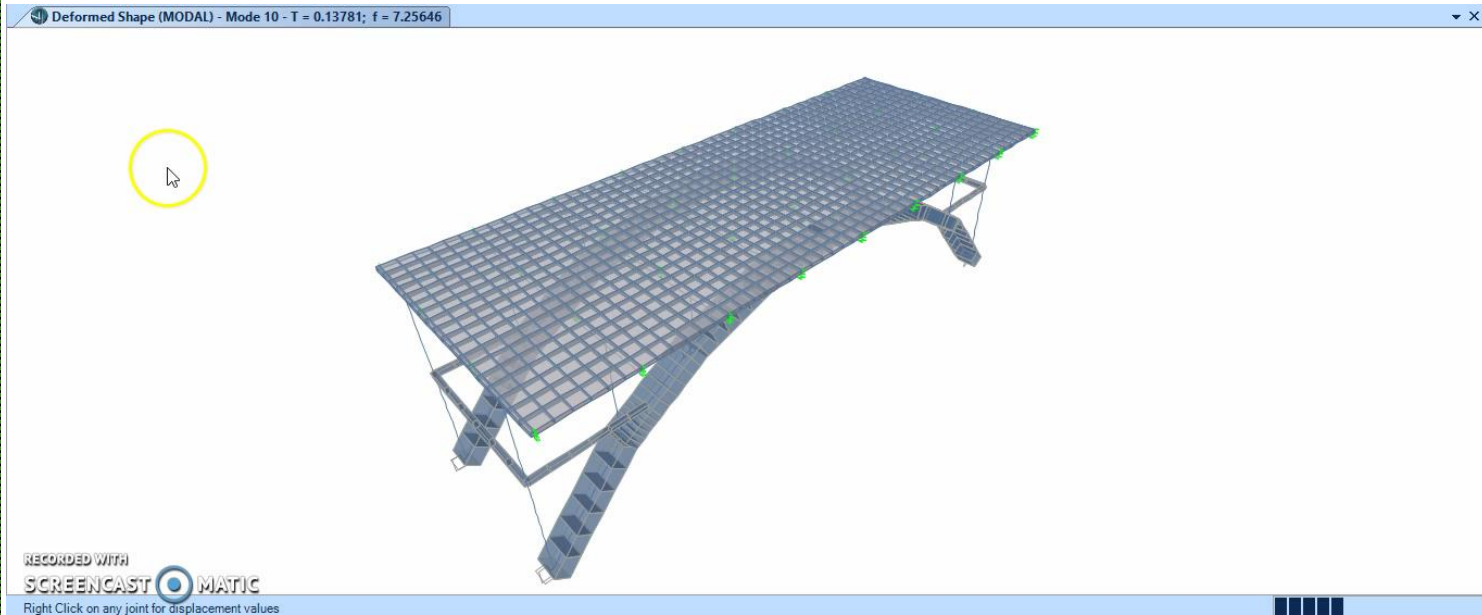
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

MODELO ANALITICO

TRAMO 2 PUENTE SAN PEDRO



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES



DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 2 PUENTE SAN PEDRO

PERIODOS DE VIBRACION

% RIGIDEZ	Ux		Uy		Uz	
	T	f	T	f	T	f
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
100	0.4159	2.4044	0.1378	7.2569	0.1138	8.7873
75 SUP - 90 SUB	0.4691	2.1317	0.1536	6.5104	0.1295	7.722
65 SUP - 90 SUB	0.4949	2.0206	0.1616	6.1881	0.1378	7.2569
50 SUP - 85 SUB	0.55	1.8182	0.1792	5.5804	0.1545	6.4725

- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

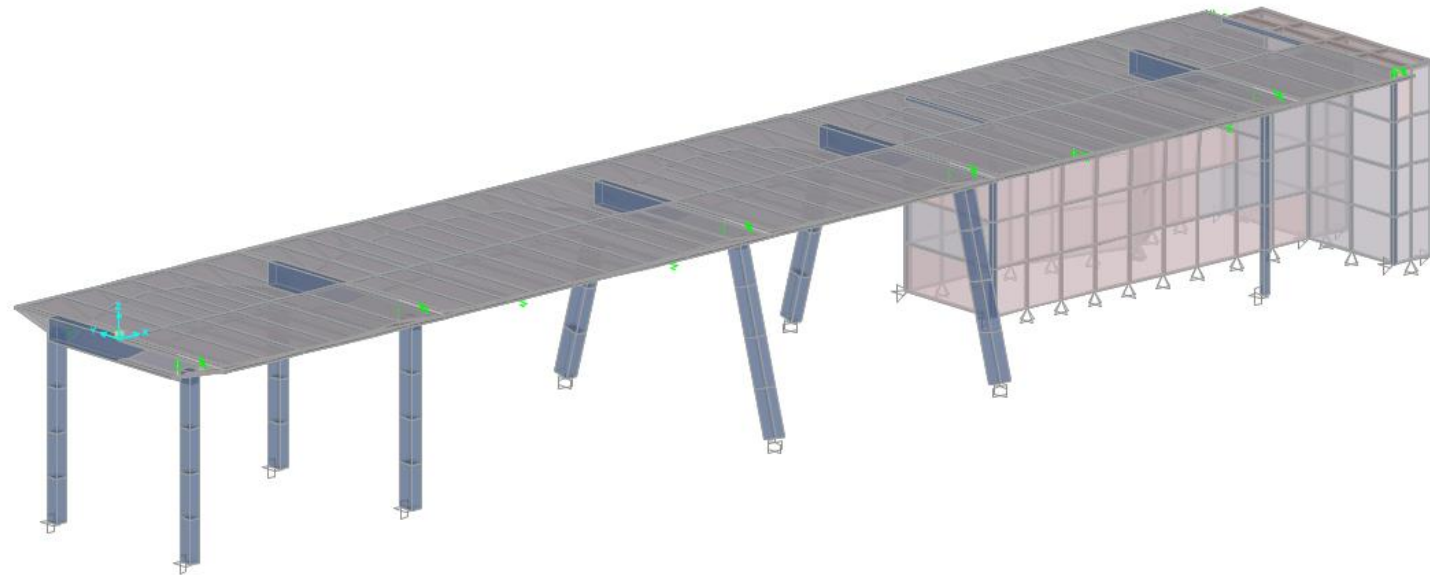
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 3 PUENTE SAN PEDRO

- LONGITUD: 89.18m



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• **MODELO ANALITICO**

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

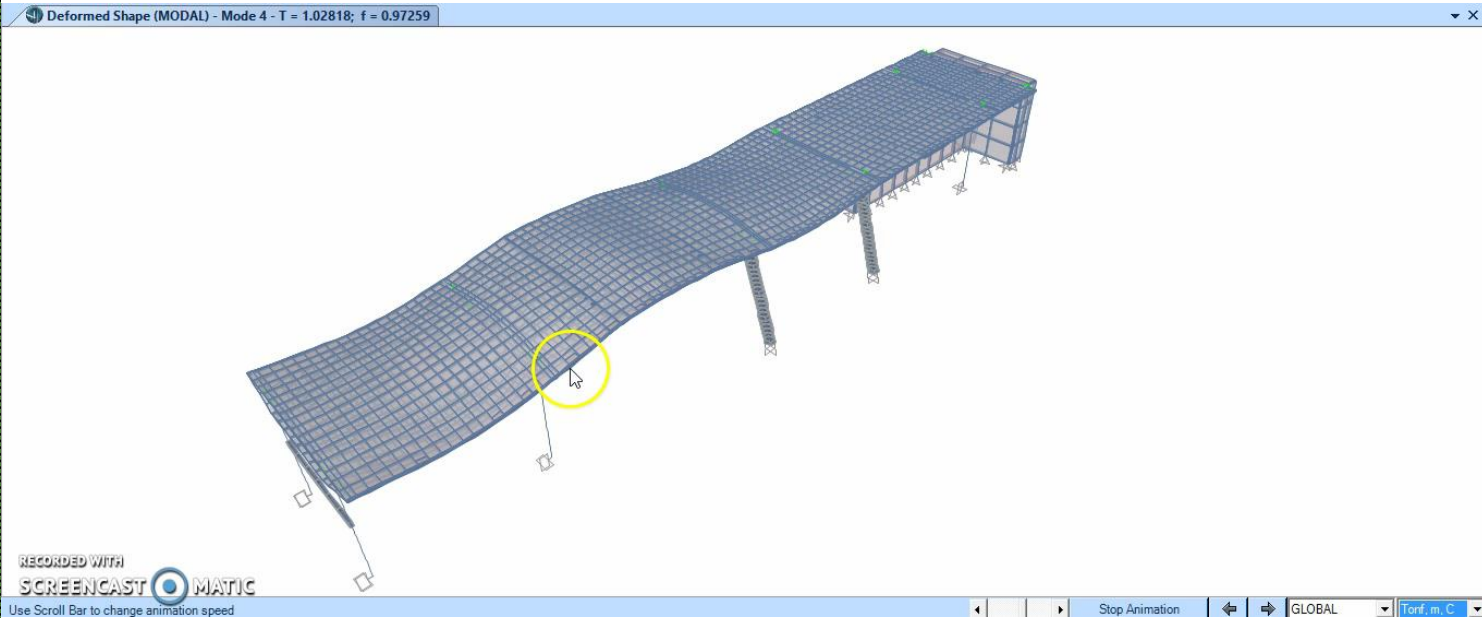
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

MODELO ANALITICO

TRAMO 3 PUENTE SAN PEDRO



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES



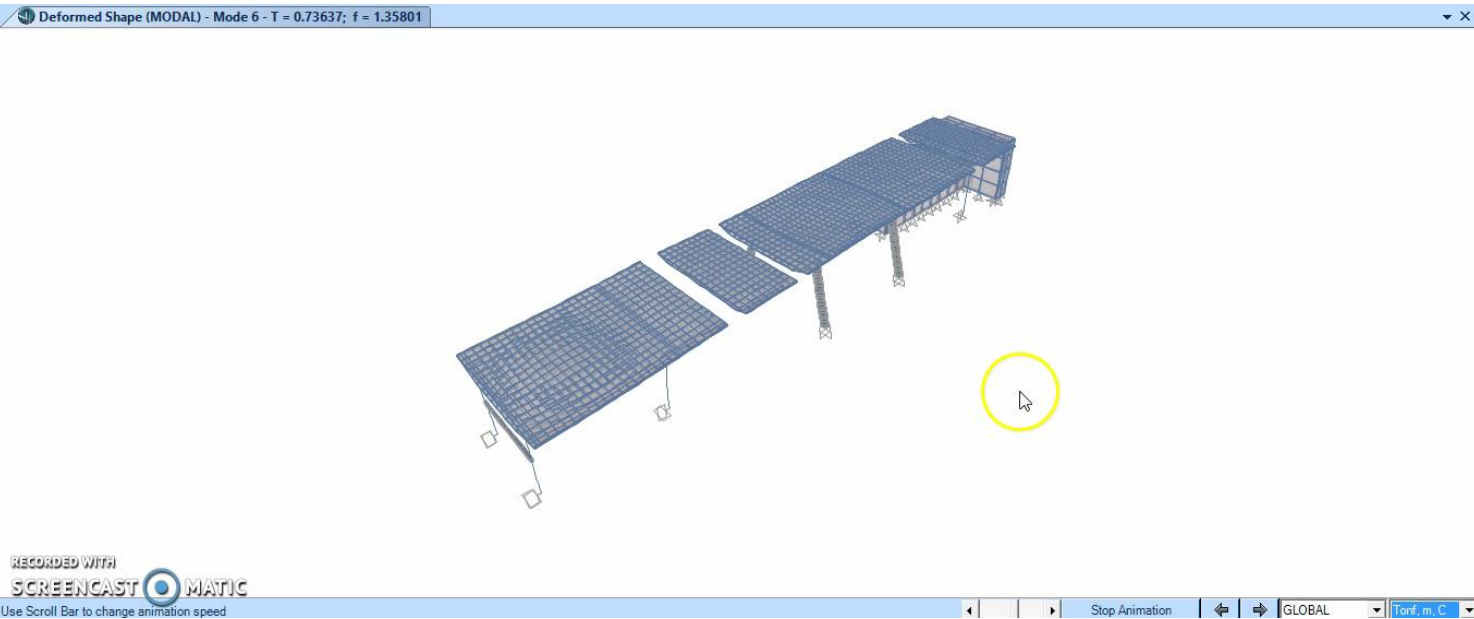
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

MODELO ANALITICO

TRAMO 3 PUENTE SAN PEDRO



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES



DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



MODELO ANALITICO

TRAMO 3 PUENTE SAN PEDRO

PERIODOS DE VIBRACION

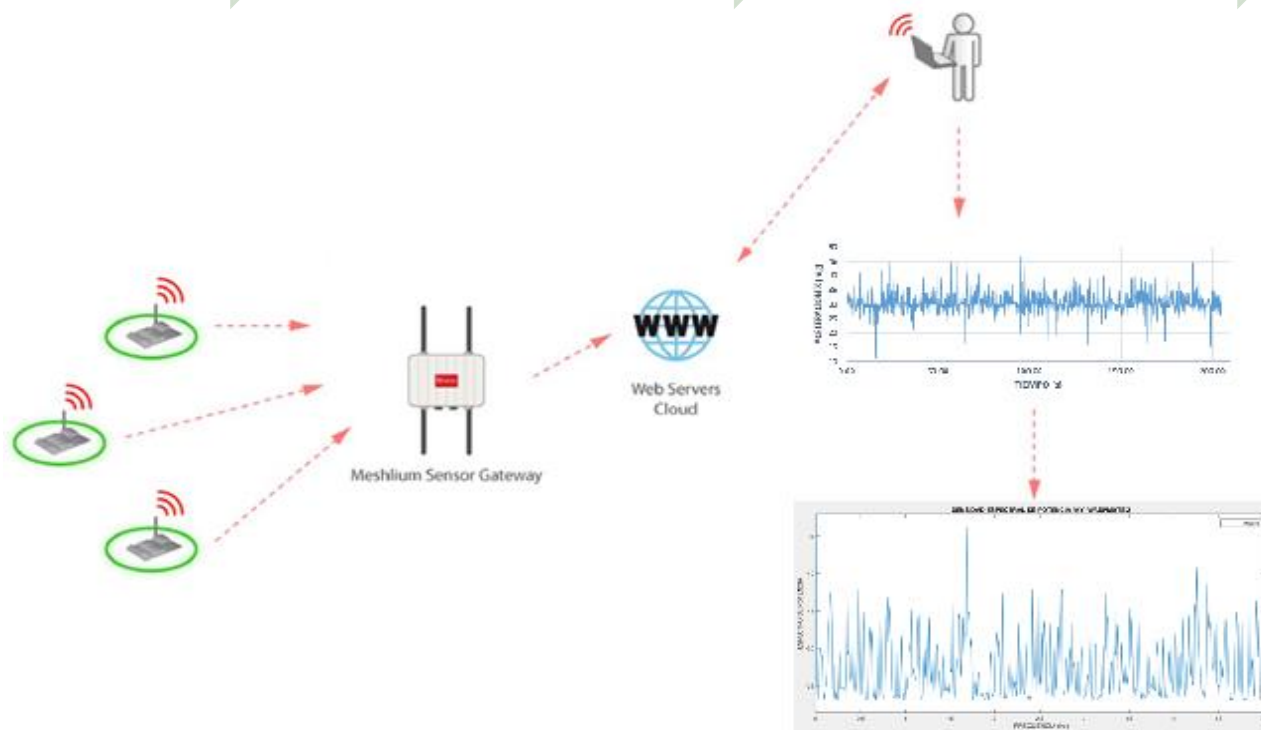
% RIGIDEZ	Ux		Uy		Uz	
	T	f	T	f	T	f
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
100	0.6763	1.4786	0.6763	1.4786	0.7335	1.3633
75 SUP - 90 SUB	0.725	1.3793	0.725	1.3793	0.8441	1.1847
65 SUP - 90 SUB	0.7364	1.3580	0.7364	1.3580	0.9046	1.1055
50 SUP - 85 SUB	0.7749	1.2905	0.7749	1.2905	1.0282	0.9726

- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- **MODELO ANALITICO**
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

SISTEMA DE MONITORIZACION:



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

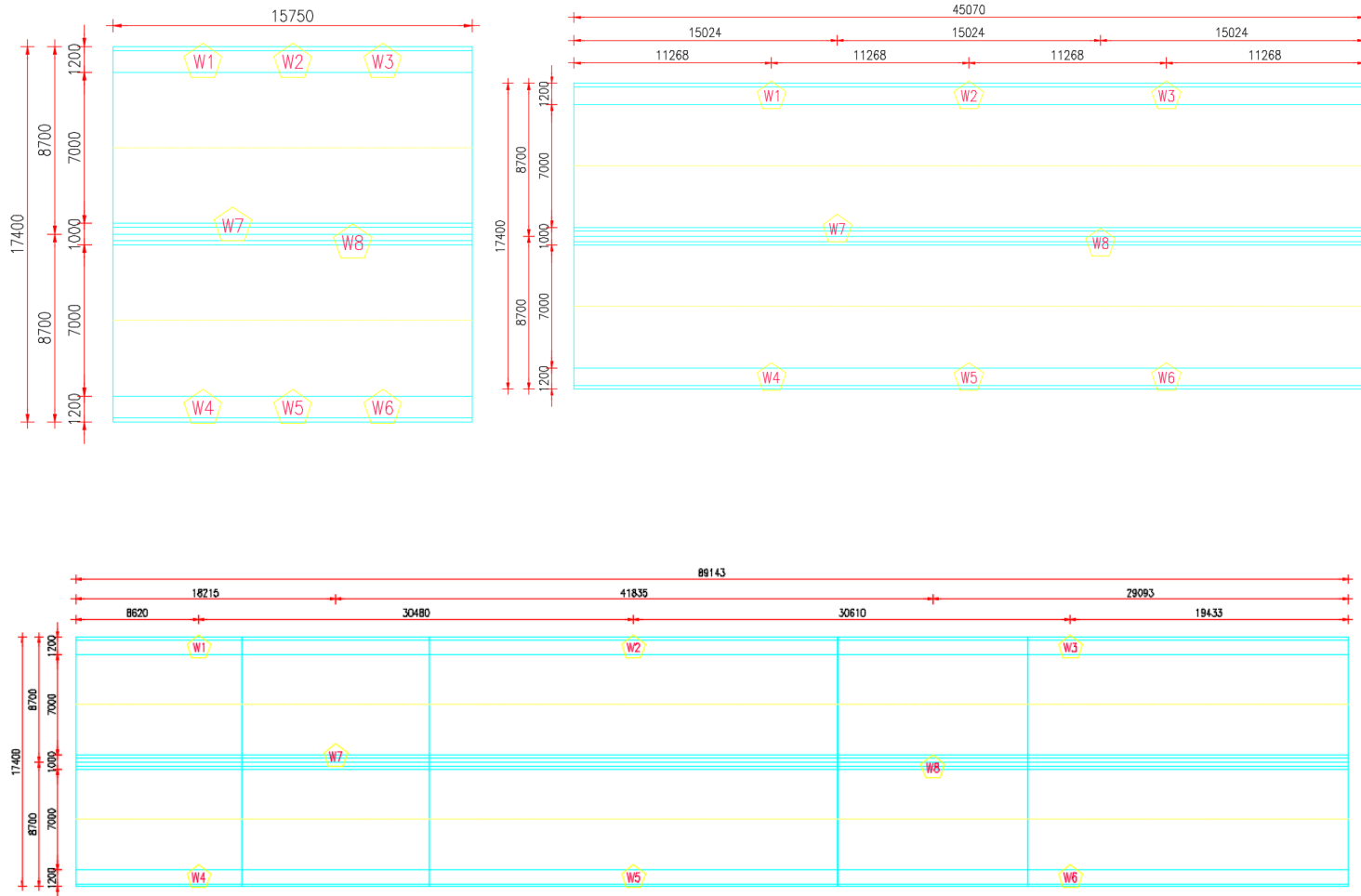
• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

UBICACION DE SENSORES



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO

INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

UBICACION DE SENSORES



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

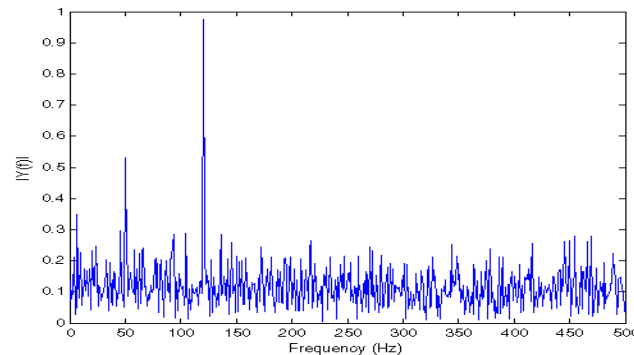
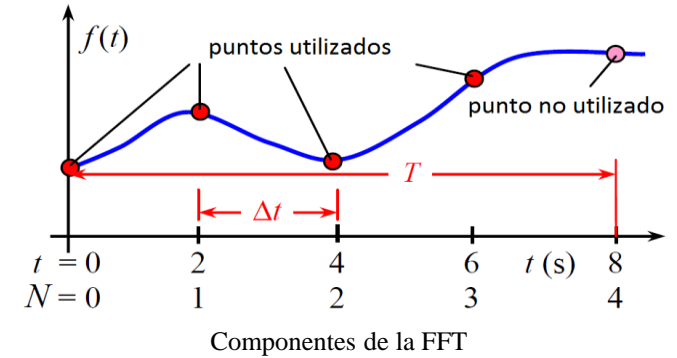
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

BASE TEORICA:

- Transformada rápida de Fourier (FTT)
- Numero de muestras (N)
- Tiempo de muestreo (T)
- Tiempo entre puntos ($\Delta t = \frac{T}{N}$)
- Frecuencia de muestreo ($f_s = \frac{1}{\Delta t} = \frac{N}{T}$)
- Incremento de frecuencia ($\Delta f = \frac{1}{T}$)
- Criterio de Nyquist ($f_{max} = \frac{f_s}{2}$)
- Periodo de vibración ($T = \frac{1}{\text{frecuencia}}$)
- Espectro de frecuencia:



Fuente: Jhon M. Cimbala

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

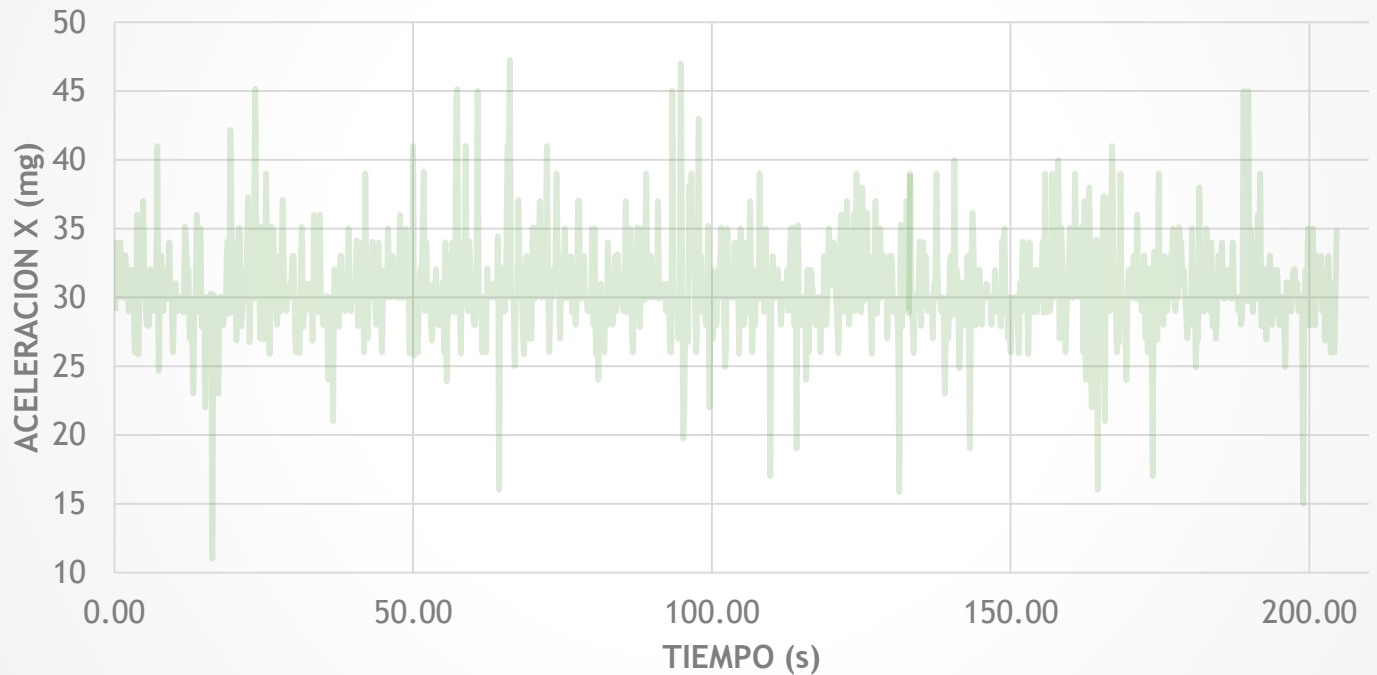
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



• ACELEROGRAMA

SERIE DE DATOS $f(t)$

ACELEROGRAMA TIEMPO vs ACELERACION



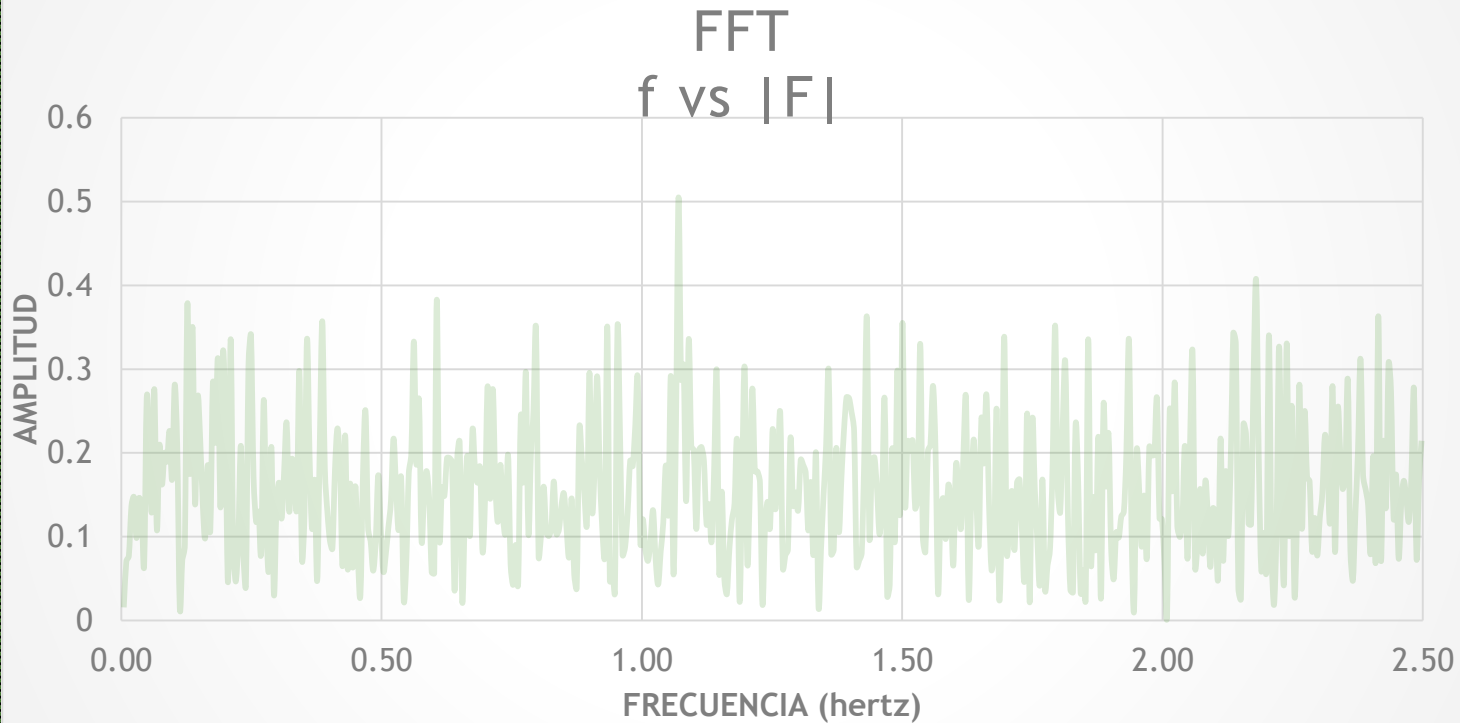
- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



• FFT EN HOJA DE EXCEL

Obtención de Espectro de frecuencias:



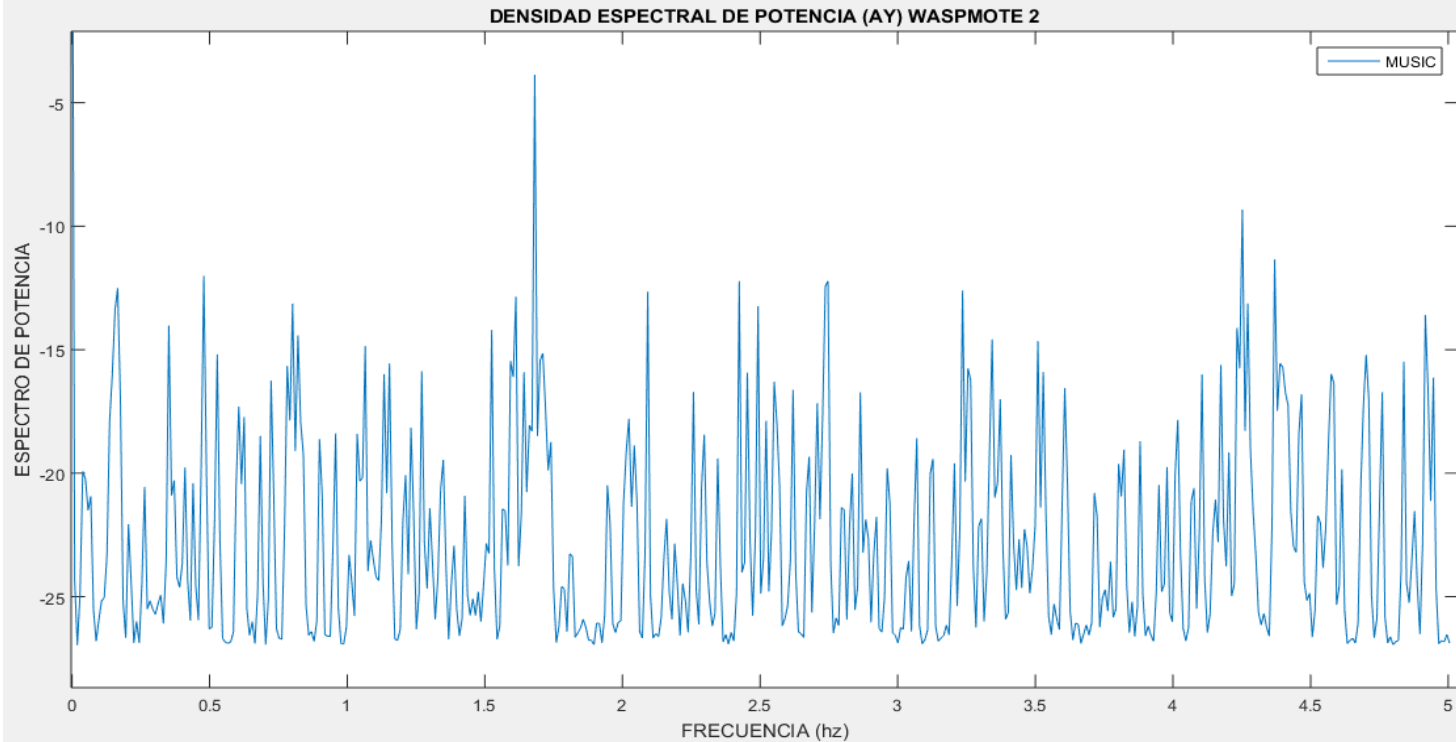
- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•MUSIC EN MATLAB

Obtención de Espectro de frecuencias (MUSIC):



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• RESULTADOS TRAMO 1

ANALISIS	Ux		Uy		Uz	
	T	f	T	f	T	f
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
100%	0.483	2.069	0.564	1.772	1.176	0.850
75% SUP - 90% SUB	0.529	1.892	0.605	1.653	1.357	0.737
65% SUP - 90% SUB	0.547	1.828	0.614	1.630	1.457	0.686
50% SUP - 85% SUB	0.563	1.776	0.646	1.548	1.661	0.602
FFT	0.662	1.511	0.758	1.319	1.240	0.807
MUSIC	0.544	1.838	0.610	1.640	1.500	0.667

- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- **ANALISIS DE RESULTADOS**
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



• ANALISIS DE RESULTADOS

• RESULTADOS TRAMO 2

ANALISIS	Ux		Uy		Uz	
	T	f	T	f	T	f
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
100%	0.416	2.404	0.138	7.257	0.114	8.787
75% SUP - 90% SUB	0.469	2.132	0.154	6.510	0.130	7.722
65% SUP - 90% SUB	0.495	2.021	0.162	6.188	0.138	7.257
50% SUP - 85% SUB	0.550	1.818	0.179	5.580	0.155	6.472
FFT	0.515	1.941	0.182	5.485	0.225	4.440
MUSIC	0.500	2.000	0.161	6.227	0.135	7.402

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• **ANALISIS DE RESULTADOS**

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



• ANALISIS DE RESULTADOS

• RESULTADOS TRAMO 3

ANALISIS	Ux		Uy		Uz	
	T	f	T	f	T	f
	s	Hz	s	Hz	s	Hz
100%	0.676	1.479	0.676	1.479	0.734	1.363
75% SUP - 90% SUB	0.725	1.379	0.725	1.379	0.844	1.185
65% SUP - 90% SUB	0.736	1.358	0.736	1.358	0.905	1.105
50% SUP - 85% SUB	0.775	1.290	0.775	1.290	1.028	0.973
FFT	1.180	0.848	1.060	0.944	0.829	1.207
MUSIC	0.732	1.366	0.745	1.342	1.066	0.938

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• **ANALISIS DE RESULTADOS**

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• TRAMO 1

Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara superior, estado resistente I.

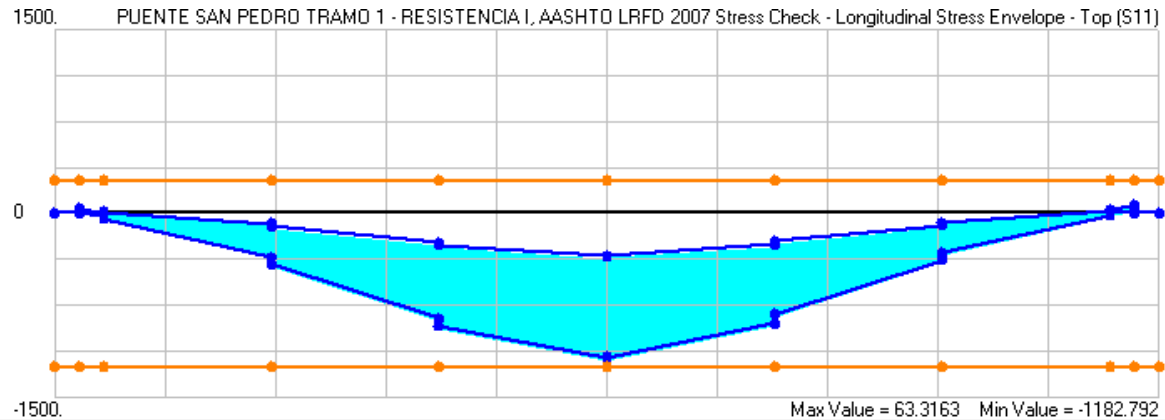
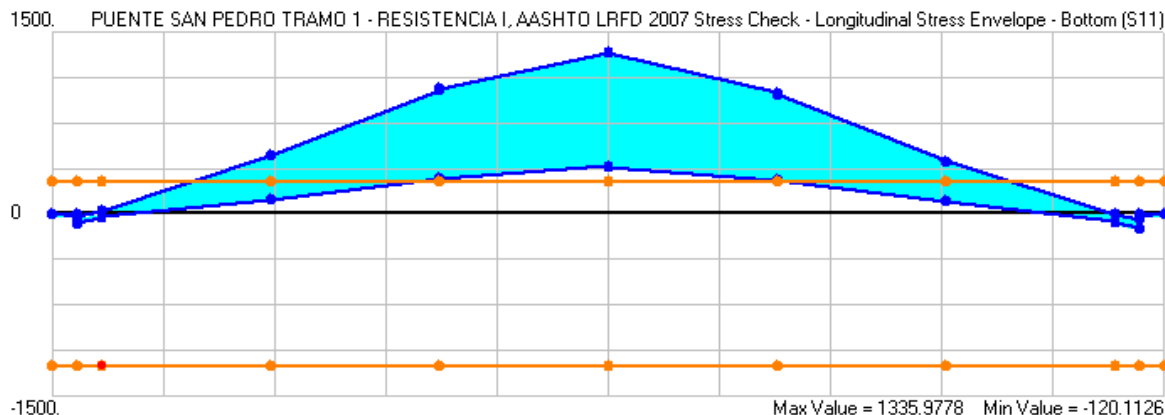


Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara inferior, estado resistente I.



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• TRAMO 1

Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara superior, estado resistente IV.

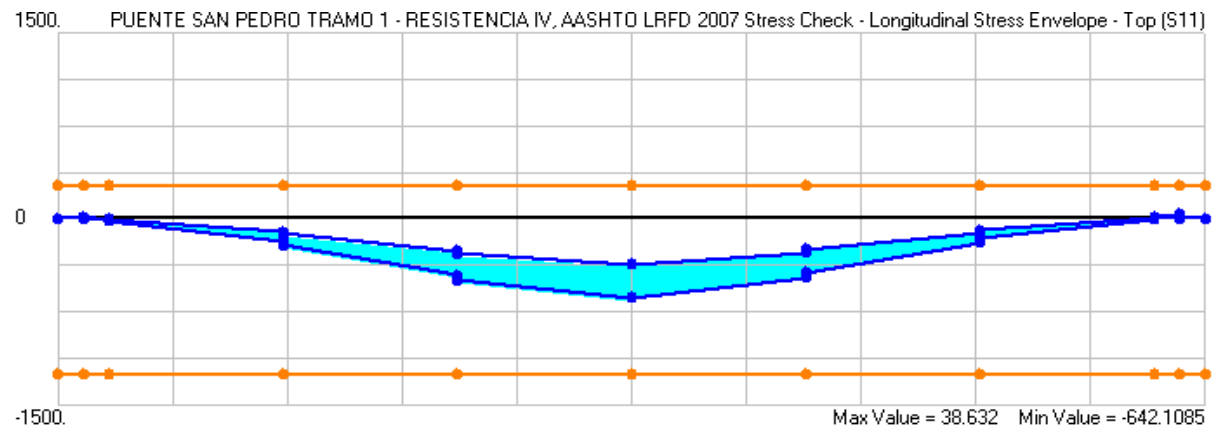
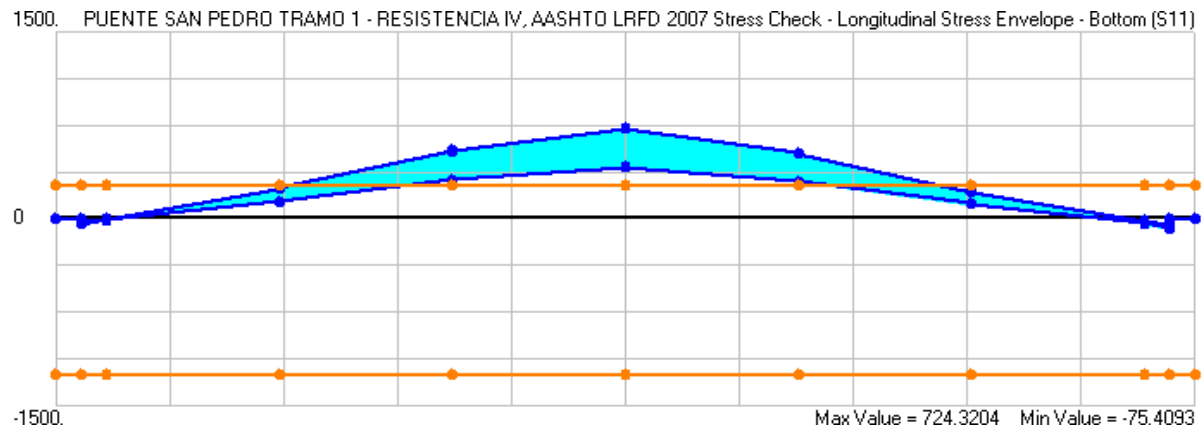


Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara inferior, estado resistente IV.



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• TRAMO 2

Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara superior, estado resistente I.

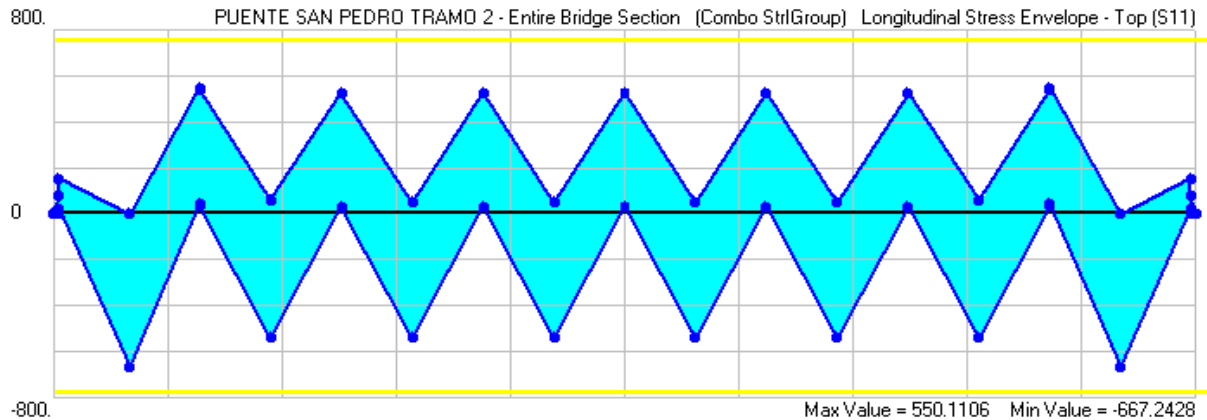
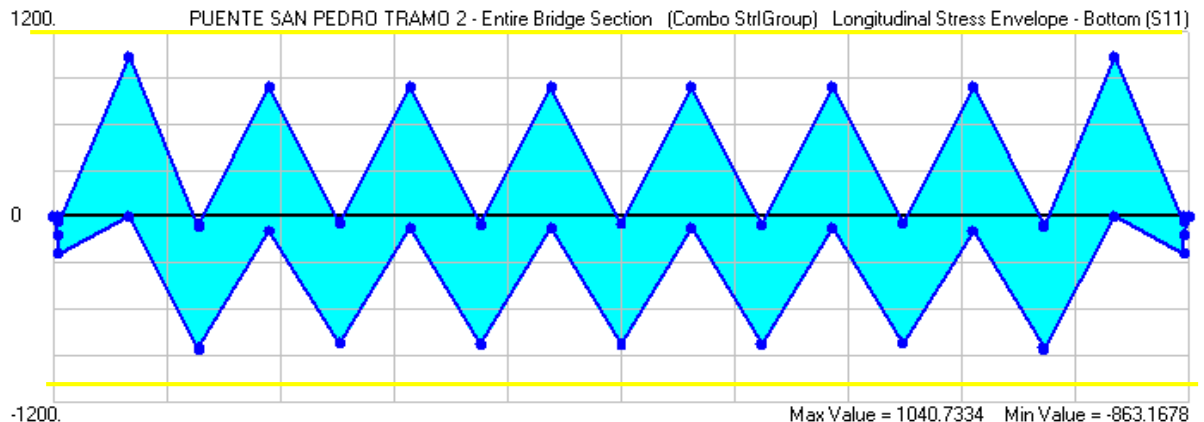


Diagrama de esfuerzos longitudinales, cara inferior, estado resistente I.



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• TRAMO 2

Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara superior, estado resistente IV.

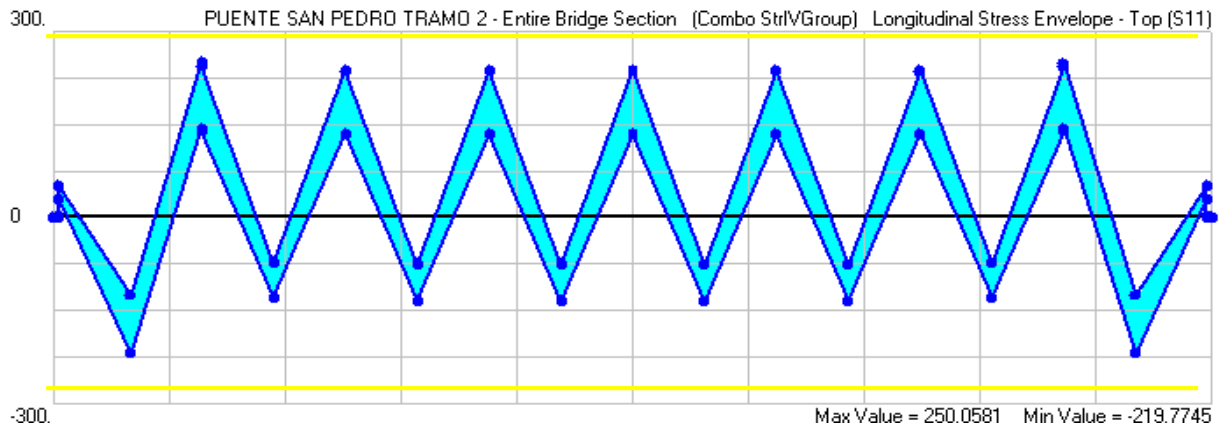
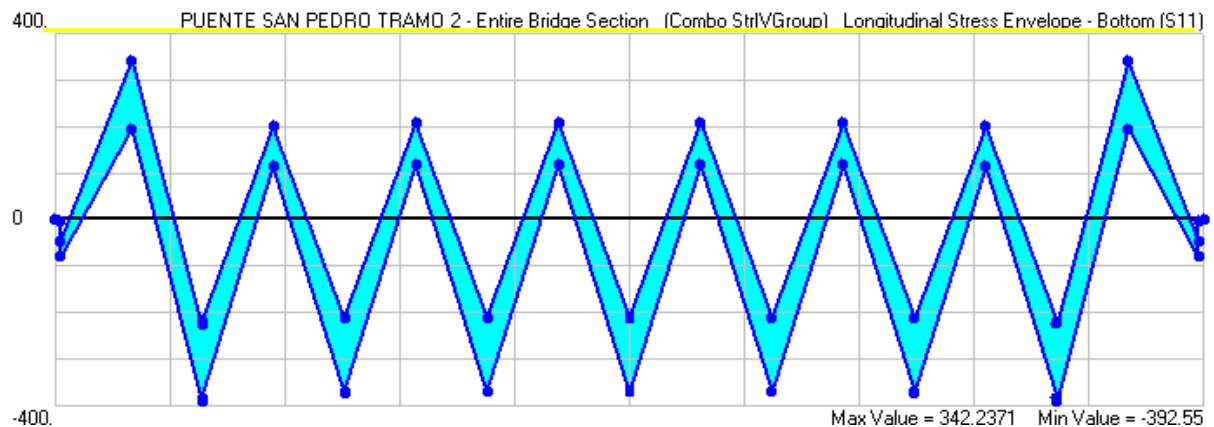


Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara inferior, estado resistente IV.



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• TRAMO 3

Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara superior, estado resistente I.

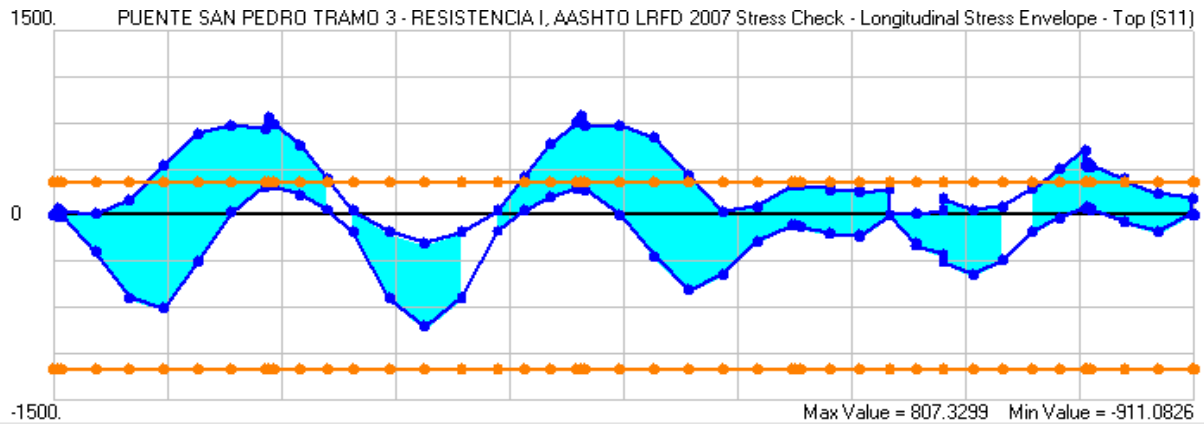
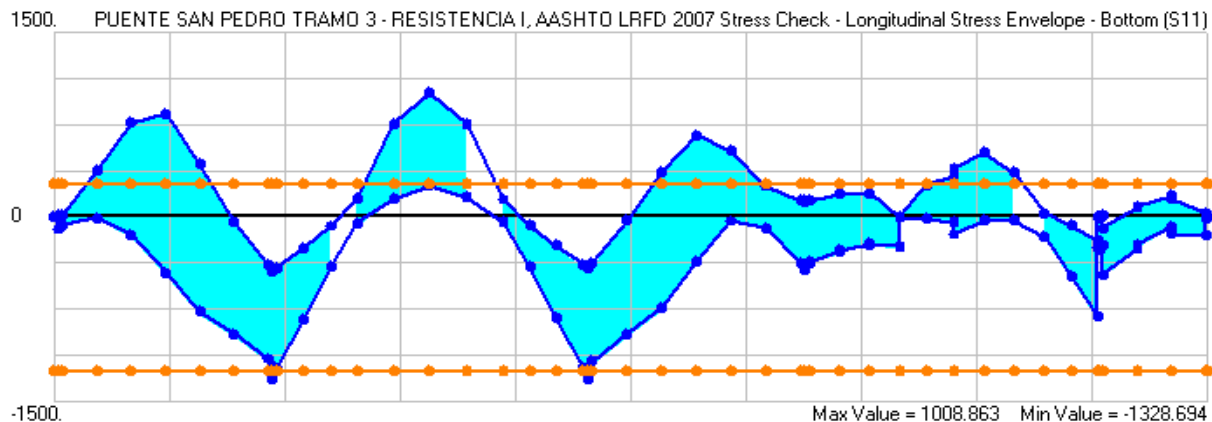


Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara inferior, estado resistente I.



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• TRAMO 3

Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara superior, estado resistente IV.

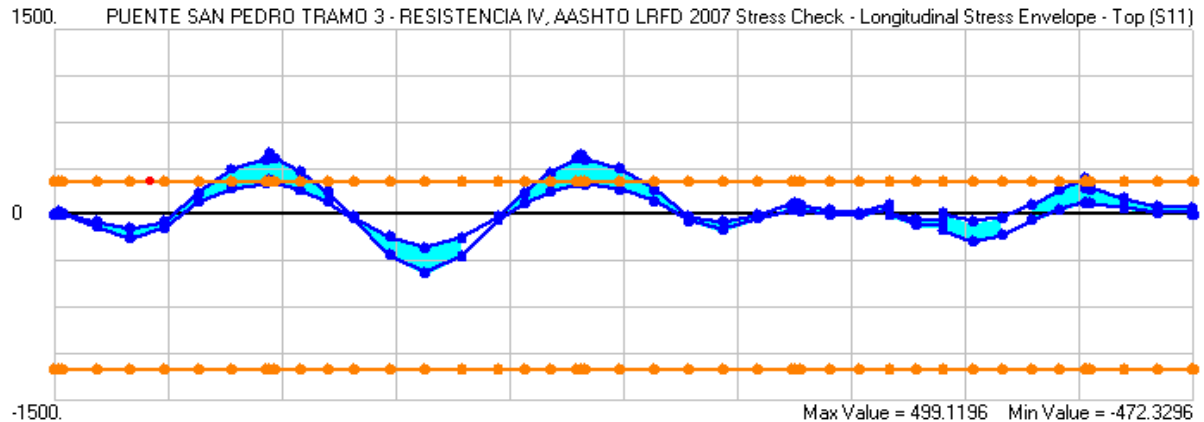
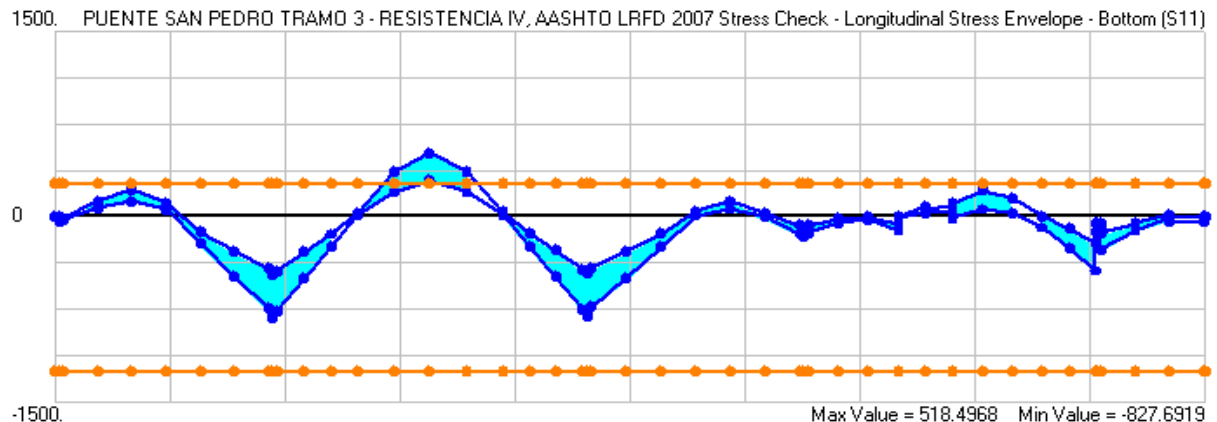


Diagrama de esfuerzos longitudinal, cara inferior, estado resistente IV.



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• ESTADO DE SERVICIO

En la sección 2.5.2.6.2 de la norma AASHTO LRFD 2014 se presentan los siguientes límites de deflexión para construcciones de puentes de acero, aluminio y/u hormigón:

- | | |
|--|--------|
| • Carga vehicular, general: | L/800 |
| • Cargas vehicular y/o peatonales: | L/1000 |
| • Carga vehicular sobre voladizos: | L/300 |
| • Cargas vehicular y/o peatonales sobre voladizos: | L/375 |

Donde L está en (mm)

Para el chequeo de las deformaciones se ha considerado de manera conservadora como límite de deflexión la carga vehicular sobre voladizos, es decir L/300.

RESULTADOS:

TRAMO 1: 54.09% CUMPLE ; 45.91% NO CUMPLE

TRAMO 2: 100% CUMPLE

TRAMO 3: 67.52% CUMPLE ; 32.48% NO CUMPLE

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION
ESTRUCTURAL

• MODELO
ANALITICO

• INSTRUMENTACION
DEL PUENTE SAN
PEDRO

• ANALISIS DE
RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

- ANALISIS SISMICO
- Zona Sísmica: V
- Z, máxima aceleración esperada en roca: 0.40
- Caracterización de amenaza sísmica: Alta
- Tipo de suelo: C
- Tipo de suelo y factor de sitio F_a : 1.23
- Tipo de suelo y factor de sitio F_d : 1.15
- Tipo de suelo y comportamiento inelástico del subsuelo F_s : 1.06
- Espectro elástico de diseño en aceleraciones, se debe considerar:
 - Factor $r = 1$
 - Relación de amplificación espectral $\eta = 2.46$
- Límites para el periodo de vibración T_0 , T_C y T_L :
 - $T_C = 0.10 F_S \frac{F_d}{F_a}$
- $T_C = 0.545$ s
 - $T_C = 0.55 F_S \frac{F_d}{F_a}$
- $T_C = 0.545$ s
 - $T_L = 2.40 F_d$
- $T_L = 2.76$ s

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

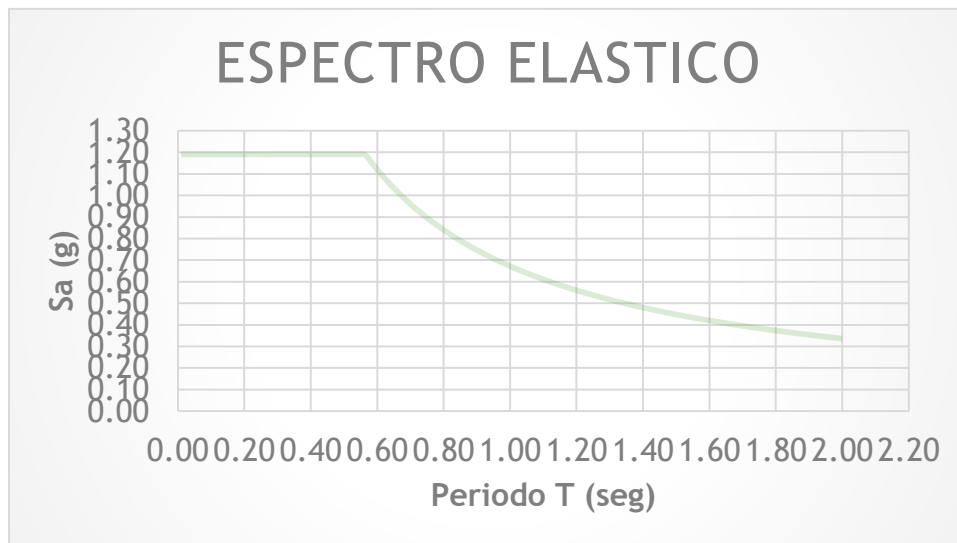
• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



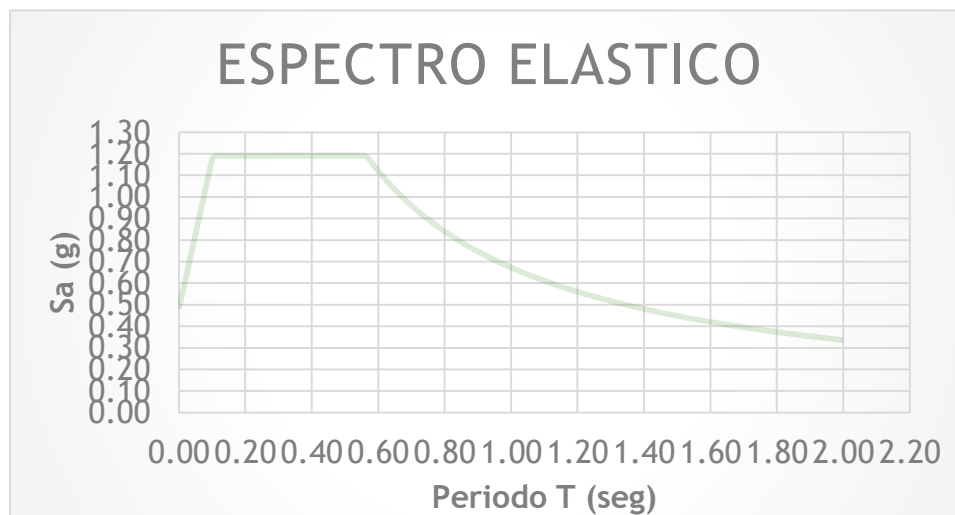
• ANALISIS DE RESULTADOS

• ANALISIS SISMICO



- Espectro sísmico de aceleraciones para el sismo de diseño

- Espectro sísmico de aceleraciones para el sismo de diseño, modos diferentes al fundamental



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

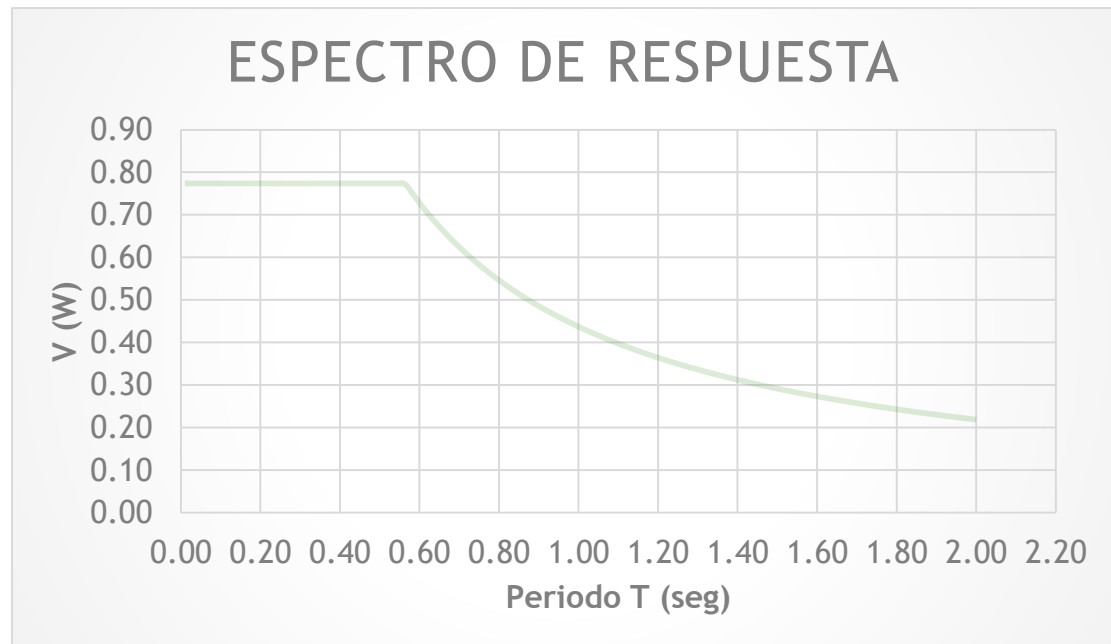
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



• ANALISIS DE RESULTADOS

• ANALISIS SISMICO

- Importancia Operativa :
 - PUENTE ESCENCIAL - ESTRUCTURA DE OCUPACION ESPECIAL ;
 $I=1.30$
- Coeficiente de reducción de respuesta estructural:
 - Correspondiente a otras estructuras no descritas en la norma ;
 $R = 2$



• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



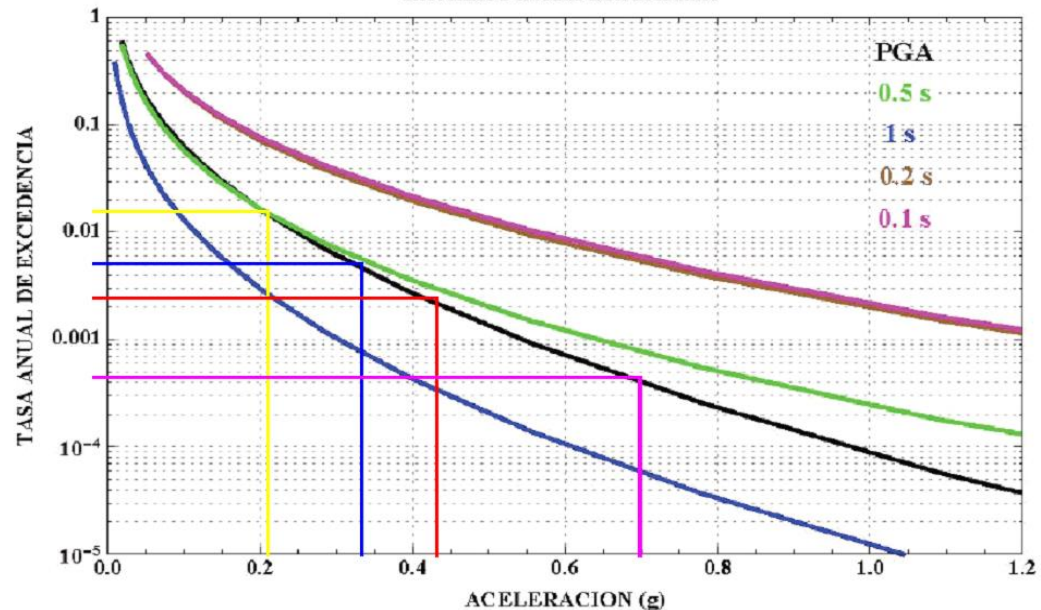
• ANALISIS DE RESULTADOS

• ANALISIS SISMICO

• Niveles de amenaza sísmica

Nivel de Sismo	Sismo	Probabilidad de Excedencia en 50 años	Periodo de Retorno T, (años)	Tasa anual de excedencia (1/Tr)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy Raro (extremo)	2%	2500	0.00040

Curvas de Peligro Sísmico para QUITO (-0.2; -78.51) a diferentes Periodos Estructurales



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• ANALISIS SISMICO

- Según lo especificado en el capítulo de Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras (NEC-SE-RE) de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) , en el numeral 4.5.3 de Definición de los objetivos de rehabilitación menciona que, un objetivo de rehabilitación se define con la selección de uno o más pares de niveles sísmicos y los correspondientes niveles de desempeño. Es decir, los niveles de daño estructural que debe alcanzar la estructura cuando es impactada por sismos de distinta probabilidad de excedencia (o período de retorno).

		Niveles de Desempeño Esperados en la Estructura			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupacion Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevencion al Colapso (5-E)
Nivel del Terremoto	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•ANALISIS DE RESULTADOS

• ANALISIS SISMICO

- Para el caso en estudio al considerar al Puente San Pedro como una estructura de ocupación especial, esta deberá ser rehabilitada para un objetivo limitado (g y l).

Objetivo de rehabilitación (g)

- Consiste en evaluar el comportamiento estructural ante un sismo OCASIONAL, y se espera un nivel de desempeño del puente tal que garantice el nivel de seguridad de vida 3-C, este nivel implica que luego del evento sísmico, algo de resistencia y rigidez residual permanezca en los elementos que soportan cargas gravitacionales y se encuentren funcionando aun cuando presenten fallas, sin embargo la estructura se mantiene económicamente reparable.

Objetivo de rehabilitación (l)

- Consiste en evaluar el comportamiento estructural ante un sismo RARO, y se espera un nivel de desempeño de la estructura tal que garantice el nivel de prevención al colapso 5-E, este nivel de desempeño implica que luego del evento sísmico debe existir una pequeña resistencia y rigidez residual pero columnas y muros deben mantenerse funcionando, sin embargo la estructura solamente debe acercarse al colapso.

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

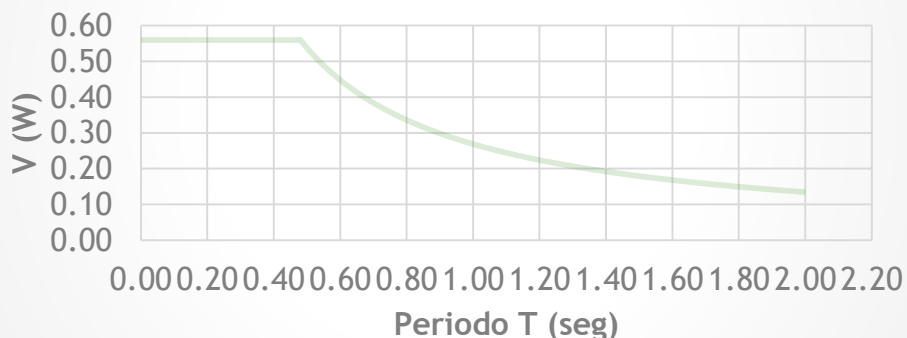
DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



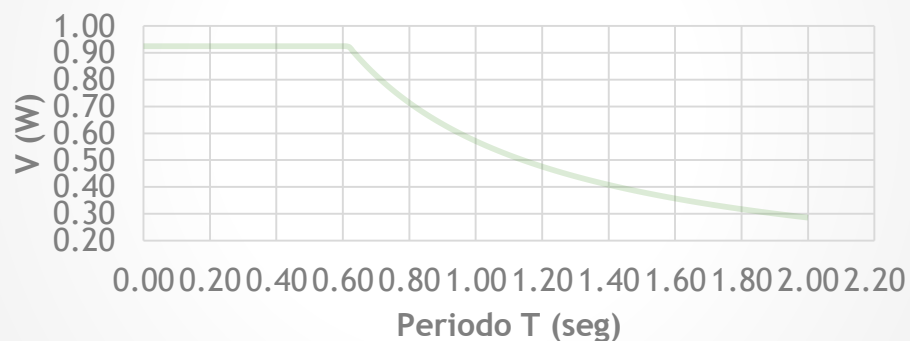
• ANALISIS DE RESULTADOS

• ANALISIS SISMICO

ESPECTRO DE RESPUESTA SISMO OCASIONAL



ESPECTRO DE RESPUESTA SISMO RARO



- INTRODUCCION
- DESCRIPCION ESTRUCTURAL
- MODELO ANALITICO
- INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO
- ANALISIS DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



•CONCLUSIONES

- La metodología propuesta se refiere a la comparación de los parámetros modales de una estructura (frecuencias y periodos de vibración), determinados de modelos matemáticos propuestos en diferentes escenarios de análisis, hasta que los resultados se asemejen a un modelo experimental basado en un método dinámico, usando sensores de aceleración, la comparación de los parámetros modales es una técnica de detección global de daño en una estructura.
- Como resultado del análisis modal, se establece que la superestructura, tiene un comportamiento variable asociado a cada modo de vibración, en los que se involucran determinados sectores de la estructura y los periodos de vibración oscilan entre 0.547 y 1.457 seg en el primer tramo, 0.138 y 0.495 seg en el segundo tramo y 0.736 y 1.028 seg en el tercer tramo para los más representativos. Los modos de vibración mostrados son traslacionales e involucran diferentes porcentajes de participación modal de la masa.
- Según los resultados de los modelos planteados en sus diferentes escenarios de análisis, se determinó que el estado actual del puente se encuentra con una pérdida de rigidez de un 35% en la superestructura y 10% en la infraestructura de su modelo inicial, lo que implica un deterioro medio.
- Según los resultados del estado límite de servicio obtenidos del modelo determinado, se presentan deformaciones superiores a los de los límites calculados en el primer y tercer tramo del puente y según los resultados del estado límite de resistencia los diagramas de capacidad del primer y tercer tramo son superiores a los de los límites máximos y mínimos permisibles.
- Se considera al puente como una estructura de ocupación especial, por lo que esta deberá ser rehabilitada para un objetivo limitado (g y l), el primer objetivo de rehabilitación (g) consiste en evaluar el comportamiento estructural ante un sismo OCACIONAL y el segundo objetivo de rehabilitación (l) consiste en evaluar el comportamiento estructural ante un sismo RARO.

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION ESTRUCTURAL

• MODELO ANALITICO

• INSTRUMENTACION DEL PUENTE SAN PEDRO

• ANALISIS DE RESULTADOS

• CONCLUSIONES

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL RESISTENTE Y DE SERVICIO ANALIZANDO LA ESTABILIDAD DEL PUENTE SAN PEDRO



• RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar tres estados de la estructura en análisis, un inicial considerando la estructura sin daño o como debió ser su diseño inicial, otro posterior con daños estructurales, reduciendo la rigidez de los elementos estructurales en distintas proporciones y el modelo experimental que mostrará el estado actual de la estructura, después de algún tiempo de servicio.
- Se recomienda utilizar como técnica de procesamiento de datos obtenidos con los acelerómetros, la Clasificación de Múltiples Señales (MUSIC), la que se determinó como técnica de procesamiento más precisa.
- Es de gran importancia anclar o fijar los acelerómetros en la superficie en donde se pretende colocarlos, para evitar tomar muestras de vibraciones adicionales a los requeridos, ya que los dispositivos tienen una masa y las excitaciones externas hacen que generen una aceleración propia además de la requerida en el ensayo.
- Considerar la frecuencia de muestreo de los dispositivos, ya que en el procesamiento de datos por la ley de Nyquist requiere el doble de frecuencia de la que se pretende determinar.

• INTRODUCCION

• DESCRIPCION
ESTRUCTURAL

• MODELO
ANALITICO

• INSTRUMENTACION
DEL PUENTE SAN
PEDRO

• ANALISIS DE
RESULTADOS

• CONCLUSIONES

GRACIAS POR SU ATENCION

“ENTRE MAS GRANDE SEA EL DESAFIO, MAYOR
SERA LA GLORIA DEL TRIUNFO”

NICK VUJICIC