**Apéndice B. Propiedades dinámicas del puente San Cristóbal**

**B.1 Introducción**

El puente que se analiza en este trabajo es el San Cristóbal cuya ubicación esta en Chiapas. Este puente sufrió un colapso cuando estaba a punto de terminarse (Balboa, 2006). Para el análisis eólico se revisó en el estado del puente cuando colapsó. Para ello se tuvo colaboración con Francisco quien realizo el modelo en SAP2000 de donde se obtuvieron las propiedades dinámicas del puente.

**B.2 Modelo computacional del Puente San Cristóbal**

En la Figura B.1 se muestra modelo computacional del puente San cristpobal

|  |
| --- |
|  |
| Figura B.1. Modelo del puente San Cristóbal en su etapa previa a la colocación de la dovela de cierre. (Francisco 2018) |

**B.3 Formas modales del puente San Cristóbal**

En la Figura B.2, B.3 y B.4Se muestran sus formas modales que describe el software

|  |
| --- |
|  |
| Figura B.2 Forma modal vertical del puente San Cristóbal (f=0.63 hz) |

|  |
| --- |
|  |
| Figura B.3 Forma modal horizontal del puente San Cristóbal (f=0.97 hz) |

|  |
| --- |
|  |
| Figura B.4 Forma modal torsional del puente San Cristóbal (f=2.21 hz) |

En Tabla B.1 se muestran los valores de las formas modales normalizados al extremo libre.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tabla B.1 Formas Modales del puente San Cristóbal | | | | | | | |
| N |  |  |  | N |  |  |  |
| 1 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9949 | 25 | 0.0114 | 0.1677 | 0.0062 |
| 2 | 0.9444 | 0.9504 | 1.0000 | 26 | -0.0073 | 0.1518 | 0.0026 |
| 3 | 0.8884 | 0.8994 | 0.9524 | 27 | -0.0189 | 0.1407 | 0.0007 |
| 4 | 0.8321 | 0.8472 | 0.8824 | 28 | -0.0287 | 0.1304 | -0.0007 |
| 5 | 0.7757 | 0.7941 | 0.7951 | 29 | -0.0368 | 0.1208 | -0.0016 |
| 6 | 0.7192 | 0.7403 | 0.6992 | 30 | -0.0435 | 0.1117 | -0.0021 |
| 7 | 0.6629 | 0.6863 | 0.6012 | 31 | -0.0488 | 0.1029 | -0.0024 |
| 8 | 0.6070 | 0.6327 | 0.5038 | 32 | -0.0526 | 0.0946 | -0.0025 |
| 9 | 0.5517 | 0.5800 | 0.4066 | 33 | -0.0551 | 0.0866 | -0.0024 |
| 10 | 0.4973 | 0.5290 | 0.3024 | 34 | -0.0562 | 0.0788 | -0.0021 |
| 11 | 0.4439 | 0.4802 | 0.1883 | 35 | -0.0560 | 0.0713 | -0.0018 |
| 12 | 0.3918 | 0.4344 | 0.0818 | 36 | -0.0545 | 0.0640 | -0.0013 |
| 13 | 0.3405 | 0.3903 | 0.0947 | 37 | -0.0505 | 0.0544 | -0.0001 |
| 14 | 0.2945 | 0.3597 | 0.0771 | 38 | -0.0449 | 0.0455 | -0.0012 |
| 15 | 0.2510 | 0.3300 | 0.0648 | 39 | -0.0382 | 0.0372 | 0.0009 |
| 16 | 0.2203 | 0.3105 | 0.0562 | 40 | -0.0309 | 0.0302 | 0.0020 |
| 17 | 0.1910 | 0.2918 | 0.0478 | 41 | -0.0236 | 0.0237 | 0.0032 |
| 18 | 0.1630 | 0.2738 | 0.0401 | 42 | -0.0169 | 0.0170 | 0.0045 |
| 19 | 0.1365 | 0.2565 | 0.0333 | 43 | -0.0110 | 0.0118 | 0.0052 |
| 20 | 0.1116 | 0.2399 | 0.0274 | 44 | -0.0059 | 0.0071 | 0.0052 |
| 21 | 0.0883 | 0.2241 | 0.0223 | 45 | -0.0013 | 0.0008 | 0.0014 |
| 22 | 0.0666 | 0.2089 | 0.0178 | 46 | 0.0003 | -0.0033 | -0.0036 |
| 23 | 0.0464 | 0.1944 | 0.0136 | 47 | 0.0008 | -0.0052 | -0.0057 |
| 24 | 0.0280 | 0.1805 | 0.0097 |  |  |  |  |

**B.4 Masa modal**

Para obtener la masa modal se aplicó la ecuación (B.1) obteniendo la integral con el método de Simpson

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (B.1) |

Donde  es la masa modal  es la masa de cada elemento,  es la forma modal.

En la Tabla B.2 se muestran los valores de las masas

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tabla B.2 Masas de las dovelas del puente San Cristóbal | | | |
| N |  | N |  |
| 1 | 9000 | 26 | 40090 |
| 2 | 15400 | 27 | 42575 |
| 3 | 13750 | 28 | 46800 |
| 4 | 13500 | 29 | 46535 |
| 5 | 15400 | 30 | 46540 |
| 6 | 12900 | 31 | 45470 |
| 7 | 12900 | 32 | 44385 |
| 8 | 14100 | 33 | 43380 |
| 9 | 14100 | 34 | 43380 |
| 10 | 13900 | 35 | 42505 |
| 11 | 15150 | 36 | 58030 |
| 12 | 17200 | 37 | 59185 |
| 13 | 33735 | 38 | 59100 |
| 14 | 54525 | 39 | 64165 |
| 15 | 41735 | 40 | 54050 |
| 16 | 41880 | 41 | 95450 |
| 17 | 42705 | 42 | 156300 |
| 18 | 42455 | 43 | 156300 |
| 19 | 42470 | 44 | 152050 |
| 20 | 44965 | 45 | 178530 |
| 21 | 46525 | 46 | 107700 |
| 22 | 46535 | 47 | 29795 |
| 23 | 46795 |  |  |
| 24 | 47610 |  |  |
| 25 | 39545 |  |  |

Masa modal 

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Masa modal 

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

**B.5 Momento másico de inercia modal**

Para el momento másico de inercia se usa el método de Steiner (Franco, 2007) que se muestra en la ecuación B.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (B.2) |

Donde  es el momento másico de inercia,  es la masa del elemento,  es la distancia al centro de masas

Para ello el puente se divide en 13 áreas como se muestra en la Figura B.5

|  |
| --- |
|  |
| Figura B.5 Áreas asignadas del puente San Cristóbal |

En la tabla B.3 se muestra sus masas y coordenadas para el tablero de la Figura B.5.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Tabla B.3 Coordenadas y masas de los elementos del tablero del puente San Cristóbal | | | |
| Elemento | X (m) | Y (m) | Masa (kg) |
| A1 | 8.04 | 5.79 | 2602 |
| A2 | 8.03 | 0.44 | 2417 |
| A3 | 3.78 | 3.53 | 1813 |
| A4 | 12.05 | 2.70 | 1973 |
| A5 | 5.97 | 3.50 | 140 |
| A6 | 9.81 | 3.12 | 140 |
| A7 | 4.97 | 3.56 | 10 |
| A8 | 8.02 | 3.23 | 20 |
| A9 | 11.11 | 2.92 | 10 |
| A10 | 6.06 | 2.10 | 13 |
| A11 | 7.05 | 2.04 | 17 |
| A12 | 8.94 | 1.89 | 17 |
| A13 | 9.94 | 1.67 | 13 |

A partir de la Tabla B.3 se obtiene que el centro de masas es

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

En la tabla B.4 se muestran las distancias y la multiplicación de las masas por la distancia al cuadrado.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tabla B.4 Obtención del momento másico de inercia | | |
| Elemento | Distancia  () | () |
| A1 | 6.87 | 17876.2 |
| A2 | 7.45 | 18013.3 |
| A3 | 17.71 | 32117.4 |
| A4 | 16.84 | 30203.0 |
| A5 | 4.12 | 577.0 |
| A6 | 3.38 | 472.7 |
| A7 | 9.17 | 91.7 |
| A8 | 0.01 | 0.1 |
| A9 | 9.90 | 99.0 |
| A10 | 4.80 | 64.1 |
| A11 | 2.13 | 35.5 |
| A12 | 2.57 | 42.9 |
| A13 | 6.12 | 81.6 |
|  |  | 99674.4 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

**B.6 Amortiguamiento**

En la literatura no existe información del amortiguamiento por lo que se propuso un valor de 0.05 el porcentaje de amortiguamiento crítico para los tres modos.

**B.7 Referencias**

Balboa. (2006). *La Jornada.* Obtenido de http://www.jornada.unam.mx/2006/04/12/index.php?section=estados&article

García, F. (2007). *El Curso Interactivo de Física en Internet.* Obtenido de http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/teoria/teoria.htm#Teorema%20de%20Steiner