

NOMBRE DEL PROYECTO:

**ESTIMACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO PARA DOS
EDIFICIOS ESCOLARES DE CONCRETO REFORZADO,
DENOMINADOS P Y Z, DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
APIZACO, TLAXCALA**

OPCION QUE CORRESPONDA:

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA:

JOSÉ ARNULFO BAEZ LIMA

NOMBRE DEL ASESOR:

M.I. MIGUEL ANGEL TLATZIMATZI FLORES

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis papás, por darme vida, educación, valores, principios y todo lo bueno que pueda aportar hoy en día, sin ellos no podría haber logrado todo lo que soy hasta el día de hoy.

Mis hermanos son gran parte de mi vida, ellos me apoyaron y confiaron en mí, para poder estudiar mi carrera universitaria, ellos y mis papás, son las personas más valiosas en mi vida, les debo todo.

De la misma manera quiero agradecer al Dr. Eduardo Ismael Hernández, por confiar en mí para poder colaborar con sus trabajos de investigación, brindarme su apoyo, conocimiento, la confianza de trabajar con sus equipos de instrumentación sísmica, oficina y su valioso tiempo, este trabajo es una pequeña parte de lo mucho que ha trabajado el Dr. en la ingeniería sísmica.

También quiero agradecer al Ingeniero Miguel Ángel Tlatzimatzí Flores, mi asesor interno del Instituto Tecnológico de Apizaco, él me brindo apoyo, conocimiento, tiempo y experiencia en la carrera, ya que también tuve la oportunidad de tomar clases con él.

Agradezco a todas las personas que puedan leer este documento, ya que se tomaron un poco de su valioso tiempo para revisar este proyecto y que espero sea de su agrado.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	14
1.-DATOS DE LA EMPRESA.....	15
EL DR. EDUARDO ISMAEL HERNÁNDEZ, PERSONA FÍSICA.....	15
LUGAR DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO	15
2.-PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
OBJETIVO	16
DELIMITACIÓN	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
JUSTIFICACIÓN.....	17
3.-MARCO TEÓRICO	18
COMPONENTES DE UN SISMO	18
MEDICIÓN DE UN SISMO	18
VULNERABILIDAD SÍSMICA	18
VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL	21
VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	21
DEFORMACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	21
ESPECTRO DE RESPUESTA SÍSMICA.....	22
ESPECTROS DE AMPLITUDES DE FOURIER.....	22
COCIENTES ESPECTRALES.....	22
DISPOSICIONES GENERALES.....	22
4.- PROCESO DE APLICACIÓN PARA INSTRUMENTAR	25
5.-ANÁLISIS DE LOS REGISTROS.....	25
UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS A INSTRUMENTAR	25
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA	26
APLICACIÓN (INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA)	27
REGISTROS OBTENIDOS (BITACORA)	31
SOFTWARE GEOPSY	37
ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER	38
RESULTADOS OBTENIDOS DE GEOPSY EDIFICIO P.....	48
RESULTADOS OBTENIDOS DE GEOPSY EDIFICIO Z.....	50
6.- COCIENTES ESPECTRALES	52

GRAFICA DE LOS COCIENTES ESPECTRALES DE EDIFICIO P	54
GRAFICA DE LOS COCIENTES ESPECTRALES DE EDIFICIO Z	58
7.- RESULTADOS OBTENIDOS.....	59
8.-ANALISIS SISMICO.....	61
DATOS DEL ARCHIVO DE ACELERACIÓN.....	61
ESPECTROS ELÁSTICOS DE ACELERACIÓN Y DESPLAZAMIENTO	62
MODELO SAP2000	66
RESULTADOS DE SAP2000	69
CORTANTES Y MOMENTOS DE LOS MARCOS RIGIDOS	73
.....	76
REVISIÓN POR DESPLAZAMIENTO LATERAL (DISTORSION)	78
9.-CONCLUSIONES	80
10.-BIBLIOGRAFIA	81
11.-ANEXOS	82
FOTOGRAFIAS DE LA PRACTICA.....	82
PLANOS ESTRUCTURALES DE LOS EDIFICIOS	87

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. PARROQUIA DE SAN JOSÉ	19
IMAGEN 2. ZONAS SÍSMICAS EN MÉXICO	20
IMAGEN 3. ZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA EL ESTADO DE TLAXCALA	20
IMAGEN 4. VALORES DE C PARA ESTRUCTURAS DEL GRUPO A	23
IMAGEN 5. EDIFICIO P, UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍAS “ING. ALEJANDRO GUILLOT SHIAFFINI”	25
IMAGEN 6. EDIFICIO Z, “UNIDAD DE CUERPOS ACADÉMICOS Y POSGRADO”.	26
IMAGEN 7. VIBRACIÓN AMBIENTAL, EDIFICIO P, PUNTO 01, CENTRO GEOMÉTRICO, AZOTEA	27
IMAGEN 8. VIBRACIÓN AMBIENTAL, EDIFICIO P, PUNTO 02, ESQUINA SUROESTE, AZOTEA	27
IMAGEN 9. VIBRACIÓN AMBIENTAL, EDIFICIO P, PUNTO 03, CENTRO GEOMÉTRICO, PLANTA BAJA	28
IMAGEN 10. VIBRACIÓN AMBIENTAL, EDIFICIO Z, PUNTO 01, CENTRO GEOMÉTRICO, AZOTEA	29
IMAGEN 11. VIBRACIÓN AMBIENTAL, EDIFICIO Z, PUNTO 02, ESQUINA SUROESTE, AZOTEA	30
IMAGEN 12. VIBRACIÓN AMBIENTAL, EDIFICIO Z, PUNTO 03, CENTRO GEOMÉTRICO, PLANTA BAJA	30
IMAGEN 13. EDIFICIO P, PUNTO-01 CENTRO GEOMÉTRICO - AZOTEA	31
IMAGEN 14. REGISTRO DE EDIFICIO P, P-01 CENTRO GEOMÉTRICO - AZOTEA.	31
IMAGEN 15. EDIFICIO P, P-02 ESQUINA SUROESTE - AZOTEA.	32
IMAGEN 16. REGISTRO DE EDIFICIO P, P-02 ESQUINA SUROESTE - AZOTEA.	32
IMAGEN 17. REGISTRO DE EDIFICIO P, PUNTO-03 CENTRO GEOMÉTRICO – PLANTA BAJA	33
IMAGEN 18. EDIFICIO P, PUNTO-03 CENTRO GEOMÉTRICO – PLANTA BAJA	33
IMAGEN 19. REGISTRO DE 3 MIN. EN EDIFICIO Z, P-01 CENTRO GEOMÉTRICO - AZOTEA.	34
IMAGEN 20. EDIFICIO Z, PUNTO-01 CENTRO GEOMÉTRICO - AZOTEA	34
IMAGEN 21. EDIFICIO Z, P-02 ESQUINA SUROESTE - AZOTEA.	35
IMAGEN 22. REGISTRO DE EDIFICIO Z, P-01 CENTRO GEOMÉTRICO - AZOTEA.	35
IMAGEN 23. REGISTRO DE EDIFICIO Z, PUNTO-03 CENTRO GEOMÉTRICO – PLANTA BAJA	36
IMAGEN 24. EDIFICIO Z, PUNTO-03 CENTRO GEOMÉTRICO – PLANTA BAJA	36
IMAGEN 25.- INTERFAZ SOFTWARE GEOPSY	37
IMAGEN 26. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-01, CH1	38
IMAGEN 27. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-01, CH2	38
IMAGEN 28. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-01, CH3	39
IMAGEN 29. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-02, CH1	40
IMAGEN 30. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-02, CH2	40
IMAGEN 31. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-02, CH3	41
IMAGEN 32. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-03, CH1	42
IMAGEN 33. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-03, CH2	42
IMAGEN 34. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P, PUNTO-03, CH3	43
IMAGEN 35. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO Z, PUNTO-01, CH2	44
IMAGEN 36. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO Z, PUNTO-01, CH1	44
IMAGEN 37. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO Z, PUNTO-01, CH3	45
IMAGEN 38. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO Z, PUNTO-03, CH2	46
IMAGEN 39. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO Z, PUNTO-03, CH1	46
IMAGEN 40. ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO Z, PUNTO-03, CH3	47
IMAGEN 41 DATOS DE ACELERACIÓN, CANAL-2 N90E	61
IMAGEN 42 DATOS DE ACELERACIÓN, CANAL-1 V	61
IMAGEN 43 DATOS DE ACELERACIÓN, CANAL-3 N00E	62
IMAGEN 44 MODELO SAPP200, EDIFICIO P, PLANO YZ	67
IMAGEN 45 MODELO SAPP200, EDIFICIO P, PLANO XZ	67
IMAGEN 46 MODELO SAPP200, EDIFICIO P, PLANO 3D	68

IMAGEN 47 MODO 1 DE VIBRAR $T = 0.1264$	69
IMAGEN 48 MODO 3 DE VIBRAR $T = 0.1074$	70
IMAGEN 49 MODO 2 DE VIBRAR $T = 0.1234$	70
IMAGEN 50 MODO 4 DE VIBRAR $T = 0.1067$	71
IMAGEN 51 MODO 5 DE VIBRAR $T = 0.1036$	71
IMAGEN 52 MODO 7 DE VIBRAR $T = 0.0975$	72
IMAGEN 53 MODO 6 DE VIBRAR $T = 0.1005$	72
IMAGEN 54 DIAGRAMA DE MOMENTO, COMBINACIÓN 9, LONGITUDINAL	73
IMAGEN 55 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE, COMBINACIÓN 9, LONGITUDINAL	73
IMAGEN 56 DIAGRAMA DE MOMENTO, COMBINACIÓN 9, TRANSVERSAL	74
IMAGEN 57 DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE, COMBINACIÓN 9, TRANSVERSAL	74
IMAGEN 58 DIAGRAMAS DEL ELEMENTO CON EL CORTANTE MÁXIMO	75
IMAGEN 59 ELEMENTO CON EL CORTANTE MÁXIMO	75
IMAGEN 60 DIAGRAMAS DEL ELEMENTO CON EL MOMENTO MÁXIMO	76
IMAGEN 61 ELEMENTO CON EL MOMENTO MÁXIMO	76
IMAGEN 62 DIAGRAMA DE DEFORMACIONES, COMBINACIÓN 9, TRANSVERSAL	77
IMAGEN 63 DIAGRAMA DE DEFORMACIONES, COMBINACIÓN 9, LONGITUDINAL	77
IMAGEN 64. INSTALACIÓN DE EQUIPO EN EL CENTRO GEOMÉTRICO	82
IMAGEN 65. ORIENTACIÓN DEL EQUIPO	82
IMAGEN 66. NIVELACIÓN DE EQUIPO	83
IMAGEN 67. CONEXIÓN VÍA ETHERNET A PC	84
IMAGEN 68. CONEXIÓN A BATERÍA	84
IMAGEN 69. TOMA DE MUESTRAS CENTRO GEOMÉTRICO, PLANTA BAJA	85
IMAGEN 70. TOMA DE MUESTRAS EN CENTRO GEOMÉTRICO, AZOTEA	85
IMAGEN 71. TOMA DE MUESTRAS EN AZOTEA	86
IMAGEN 72. CONFIGURACIÓN EN PC	86
IMAGEN 73. PLANO E-1	87
IMAGEN 74. PLANO E-3	87
IMAGEN 75. PLANO E-4	88

ÍNDICE DE GRAFICAS

GRÁFICA 1. COCIENTE ESPECTRAL 1, LONGITUDINAL	54
GRÁFICA 2. COCIENTE ESPECTRAL 2, TRANSVERSAL	54
GRÁFICA 3. COCIENTE ESPECTRAL 3, TORSIÓN RESPECTO CH2	55
GRÁFICA 4. COCIENTE ESPECTRAL 4, TORSIÓN RESPECTO CH3	55
GRÁFICA 5 ESD-SAPP1709191-EW	62
GRÁFICA 6 ESD-SAPP1709191-NS	63
GRÁFICA 7 ESD-SAPP1709191-V.....	63
GRÁFICA 8 ESA-SAPP1709191-NS.....	64
GRÁFICA 9 ESA-SAPP1709191-EW.....	64
GRÁFICA 10 ESA-SAPP1709191-V.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESPECTROS DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO P	49
TABLA 2. ESPECTROS DE AMPLITUDES DE FOURIER, EDIFICIO Z	51
TABLA 3. COCIENTES ESPECTRALES, EDIFICIO P	53
TABLA 4. COCIENTES ESPECTRALES, EDIFICIO Z	57
TABLA 5 COMBINACIONES DE CARGA	66
TABLA 6 DATOS DEL ESD-SAPP1709191-NS	78
TABLA 7 DATOS DEL ESA-SAPP1709191-EW	79

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, consiste en estimar la deformación de 2 edificios de concreto armado, pertenecientes al Tecnológico Nacional de México, Campus Apizaco, esto mediante un acelerógrafo y softwares de apoyo.

Este trabajo está conformado técnicamente por 2 partes, la primer parte se conforma en elegir 2 edificios de concreto armado, a los cuales se les obtendrá su frecuencia y periodo fundamental de vibrar de los edificios, para esto, se utilizará un acelerógrafo de marca Kinematics, y así obtener sus 3 modos de vibrar de cada edificio, con estos registros, obtendremos los espectros de Fourier mediante el software Geopsy, estos datos nos servirán para poder utilizar el método de cocientes espectrales, obtener su máxima amplitud y sus desplazamientos máximos.

La segunda parte se conforma en modelar los edificios a estudiar, descargar el registro sísmico de la base de datos de la UNAM, aplicarla al modelo por medio de TIME HISTORY y RESPONSE SPECTRUM conocer sus desplazamientos máximos, periodo y frecuencia, cortantes, momentos, etc.

1.-DATOS DE LA EMPRESA

EL DR. EDUARDO ISMAEL HERNÁNDEZ, PERSONA FÍSICA.

Ha sido miembro activo en varias Sociedades Técnicas como el EERI y la SMIE. En la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica desde el 2005, fue vocal de la mesa directiva en el periodo 2009-2010; fue secretario de la SMIS del 2018 al 2019, Coordinador de las Delegaciones Regionales y Capítulos Estudiantiles de la Mesa Directiva 2016-2019 y Presidente de la Delegación de la SMIS en el Estado de Tlaxcala del 2017 a la fecha.

Su experiencia profesional se ha centrado en la Consultoría para el Desarrollo e Implementación de criterios para estimar la salud estructural de construcciones existentes, en la estimación de espectros de sitio y en la generación de mapas de microzonificación sísmica de áreas urbanas.

Desde el año 2014 es Gerente del Departamento de Estructuras en INGEOSIS (Ingeniería Geofísica, Estructural y Sísmica), donde ha instrumentado y evaluado cerca de 70 edificios existentes, tanto escolares, hospitales, templos, edificios de departamentos, naves industriales, hoteles, etc.

LUGAR DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO

Nombre: Dr. Eduardo Ismael Hernández

Giro, ramo o sector: Especialista y Consultor Independiente Domicilio: Av. 13 Norte, No.93, Col. La Nopalera, Calpulalpan, C.P. 90203.

RFC: IAHE7708082P8

Ciudad: Tlaxcala Celular: 2212593372

Correo electrónico: eduardo.ismael@upaep.mx

El trabajo se desarrollará bajo la supervisión del Dr. Eduardo Ismael Hernández, Especialista y Consultor Independiente en los temas de Riesgo Sísmico.

2.-PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Todas las construcciones son de gran importancia, pero hay algunas que deben estar en mejor condición en el caso de un desastre natural, debemos priorizar hospitales y escuelas, ya que el colapso de ellas, puede provocar pérdidas humanas, aquí entra el trabajo de las personas dedicadas a la construcción, arquitectos, ingenieros, etc. Estas personas deben encargarse de que cada proceso constructivo, calculo y material sea el indicado para que esta estructura no sufra deformaciones de gran impacto en un futuro.

Las fuerzas externas normalmente causan deformaciones mínimas, que, sin ayuda de instrumentación especializada, no se podrían observar, aunque sean mínimas, no podemos despreciarlas o no tomarles importancia, para este trabajo, analizaremos la capacidad de deformación en infraestructura escolar, ya que en ellas se encuentra la vida de profesores, personal de las instituciones y alumnos. En este trabajo se analizarán 2 edificios de concreto armado del Instituto Tecnológico de Apizaco, utilizando instrumentación y softwares especializados en este tipo de trabajos y así determinar su estado físico.

OBJETIVO

Instrumentar dos edificios del Instituto Tecnológico de México para estimar la capacidad de deformación y así evaluar su nivel vulnerabilidad ante una amenaza sísmica y modelar los edificios respectivos mediante SAP2000 y aplicar registros sísmicos en el mismo software.

DELIMITACIÓN

Este trabajo se limita a solo instrumentar 2 edificios seleccionados, se registrarán 3 puntos de cada edificio, cada punto será analizado durante 10 minutos. El registro se hará con un acelerógrafo marca Kinematics, con esto obtendremos su periodo y lo compararemos con el modelo que también se realizará en este trabajo, dicho modelo se ejecutará con las características físicas reales de los edificios respectivos.

Se espera que el periodo que se obtenga por medio de la instrumentación sísmica sea congruente con las características físicas de los edificios, de no ser así, se notificará a las autoridades correspondientes de la situación de los edificios, para que ellos tomen acciones en la situación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar la metodología del estudio de análisis de vulnerabilidad sísmica
- Utilizar instrumentación sísmica en los edificios P y Z para obtener su modo de vibrar
- Calcular los cocientes espectrales por medio de sus espectros de amplitudes Fourier para conocer su periodo
- Modelar los edificios a instrumentar en el software SAP2000, con sus dimensiones reales
- Aplicar el registro sísmico del sismo del 19 de septiembre del 2017 en Chiautla de Tapia, Pue. en los modelos respectivos de SAP2000.
- Realizar el análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmicos de cada edificio en estudio.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, en todo el mundo, tenemos edificaciones que han sido construidas por el ser humano, se han desarrollado nuevas técnicas, tecnología, materiales, herramienta y procesos constructivos para que nuestros edificios cada vez sean mejores, nuestras estructuras están diseñadas para soportar grandes cargas, tener diseños alucinantes, pero la fuerza de los fenómenos naturales en el mundo, también es impresionante. El viento, la lluvia, el granizo, los tornados, los huracanes y uno de los fenómenos naturales más populares en México, el sismo. Son fenómenos que terminan siendo una amenaza para nuestras construcciones y terminan siendo un riesgo.

El sismo no solo se presenta con mayor frecuencia en México, hay otras zonas donde también es muy frecuente este fenómeno, países como China, Irán y Turquía. México es un País con un gran nivel de sismicidad, eso lo sabemos por la gran cantidad de placas tectónicas que tenemos muy cerca del territorio nacional, por si no fuera poco, sabemos del gran nivel de sismicidad por las lamentables experiencias de sismo en el país, experiencias que han dejado huella en la vida de las personas, sismos como el del año de 1985, 1999 y 2017.

En 2023, año en el que está redactado este documento, recientemente ocurrieron sismos en Turquía y Siria, catástrofes que dejaron más de 45 mil personas fallecidas y cientos de edificios colapsados. Este es un solo ejemplo de lo vulnerable que somos ante eventos sísmicos. A lo largo de los años, en México, las NTC y Reglamentos de construcción han sido modificados para ser menos vulnerables a una amenaza sísmica, pero el trabajo no termina aquí, tenemos que seguir modificando los documentos ya mencionados, utilizar instrumentación para aplicar en situaciones postsísmicas y presísmicas y seguir preparándonos para las amenazas futuras.

3.-MARCO TEÓRICO

COMPONENTES DE UN SISMO

Hipocentro: es el lugar exacto donde se produce la falla, desde este punto inician las ondas sísmicas

Epicentro: es un punto que se ubica exactamente sobre el hipocentro, desde el hipocentro se traza una línea completamente vertical hasta interceptar la superficie.

Se generen esfuerzos de fricción con el choque entre las placas tectónicas, que impiden el desplazamiento de una respecto a la otra. Si dichos esfuerzos sobrepasan la resistencia de las rocas, ocurre una ruptura violenta y esta libera la energía acumulada. La energía se desplaza en forma de ondas, donde inicia la falla, es el punto de partida de las ondas, se cuenta con 4 tipos de ondas: primarias, secundarias, Rayleigh y Love.

MEDICIÓN DE UN SISMO

La magnitud de un sismo es un número que sirve para caracterizar el tamaño de este o la cantidad de energía liberada, puede ser captada por medio de varios aparatos (sismómetros), estos captan las ondas y las transforman en sismogramas. Los sismogramas son registros que pueden ser interpretados mediante computadora o a mano.

Magnitud local (M_L): Mejor conocida como escala de Richter, ha sido de una de las escalas más usadas en todo el mundo, sin embargo, actualmente está en desuso porque tiene ciertas limitaciones, no puede medir sismos de gran tamaño, pues esta se satura

Magnitud de momento (M_W): Actualmente la más usada por la ingeniería sísmica, caracterizada por utilizar el momento sísmico, para el cálculo de este método, se utiliza el área de ruptura, distancia a la que el bloque se desliza del otro y la rigidez de la roca. Con sismos de magnitudes menores, esta coincide con la escala de Richter, pero para sismos de gran magnitud, este método no se satura y resulta ser más efectivo.

VULNERABILIDAD SÍSMICA

Las funciones de vulnerabilidad sísmica de una construcción son relaciones cuantitativas entre diversos indicadores de los daños probables que pueda sufrir una construcción ante un evento sísmico y la correspondiente intensidad del movimiento del terreno.

En la república mexicana, las zonas epicentrales más comunes, han sido la zona de las costas, debido a la gran interacción entre las placas de Cocos, Caribe, Rivera y Pacífico, haciendo vulnerables a los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima. Ver imagen 1

Tlaxcala, Puebla, Ciudad de México, Estado de México son estados que no se encuentran en las costas, pero esto no los hace completamente no vulnerables ante eventos sísmicos, Ciudad de México ha sido uno de los estados más afectados por los sismos en las costas, debido a su naturaleza de terreno. Tlaxcala no ha sido anfitrión de sismos de gran magnitud como lo han sido otros, en Tlaxcala se han reportado eventos sísmicos de baja magnitud, epicentralmente ubicados en las faldas del Volcán Malinche. Son sismos que no superan los 4 grados en la escala de Richter, esto los hace prácticamente imperceptibles. Sin embargo, ha sido afectado por los sismos que han ocurrido en otros estados, sismos como el del 19 de septiembre de 1985 en Michoacán, el 19 de septiembre de 2017 en Morelos y el temblor ocurrido el 15 de junio de 1999 en Tehuacán Puebla. Con el sismo más reciente de 2017, hubo daños significativos en construcciones antiguas, la más afectada fue la parroquia de San José.



Imagen 1. Parroquia de San José

México ha dividido sus estados en 3 categorías: riesgo bajo, medio y alto, colocando a Tlaxcala en riesgo moderado, se puede ver en la siguiente imagen.



Imagen 2. Zonas sísmicas en México

Así mismo, la Sociedad Geológica Mexicana, propone para el Estado de Tlaxcala, un mapa de Zonificación Sísmica que se divide en zonas de alta, media y baja sismicidad, tal como se describen en la siguiente imagen de la tabla 51.

Tabla 51. Zonificación Sísmica para el Estado de Tlaxcala

ZONA	PELIGRO	DESCRIPCIÓN
I	Alto	Se ubica en la región centro-Sur del estado y se asocia a la presencia de importantes fallas con orientaciones: Norte Este-Sur Oeste y Este-Oeste, las cuales conforman el extremo Norte del Graben de Puebla. En esta zona se encuentran las ciudades más importantes por su densidad poblacional como: Tlaxcala (capital del estado), Santa Ana Chiautempan, Huamantla, Apizaco, Zacatelco y San Pablo del Monte.
II	Media	Se localiza al Norte Oeste del estado. Abarca un área pequeña en la cual no se han identificado elementos tectónicos superficiales
III	Baja	Se encuentra al Norte Este del Estado, considera las áreas en las cuales no se han producido sismos y no hay existencia de elementos tectónicos que sugieran la presencia de deformación actual.

Imagen 3. Zonificación sísmica para el Estado de Tlaxcala

VULNERABILIDAD NO ESTRUCTURAL

Este tipo de vulnerabilidad está asociada principalmente a los elementos arquitectónicos, instalaciones, muebles, ventanas, puertas, entre otros. Estos elementos que después de un sismo, aunque sufran daños, no afecta directamente a la estructura del edificio, o sea, que este puede seguir funcionando casi a la normalidad, con algunas excepciones.

Un hospital que depende gran parte de las instalaciones, si las instalaciones no trabajan con normalidad, o dejan de funcionar completamente, el hospital, aunque no esté en riesgo de colapso, puede ser inservible.

No se debe descartar el peligro que implica el daño de los elementos no estructurales, algunos pueden provocar daños a personas, tales como el colapso de fachadas, pues estas pueden incluso ocasionar pérdida de vidas

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Como su nombre lo dice, son los daños que sufre el edificio en sus componentes estructurales, como son columnas, vigas, cimentación, etc. Elementos del cual la estructura depende para estar firme y sin riesgo a colapso. Es la vulnerabilidad más importante, pues si esta presenta algún daño en uno de sus elementos, queda inservible. Se puede tratar de reparar los daños estructurales, pero dependen casi en su totalidad del costo, ya que estos pueden ser muy elevados y resulta ser poco viable.

Es de gran importancia que para que un edificio no sea vulnerable en cuestión estructural, se debe de contar con gran supervisión en calculo estructural, supervisión de proceso constructivo, supervisión de calidad de los materiales, mecánica de suelos, todo lo necesario para que sea una construcción segura.

DEFORMACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

Todo elemento estructural sometido a fuerzas externas se deforma, aunque estas alteraciones en su estado físico, son casi imperceptibles. No solo las fuerzas externas provocan estas deformaciones, la temperatura también puede provocar estas alteraciones. Estas deformaciones pueden ser elásticas o plásticas

Elásticas: al someter al elemento estructural a una carga temporal, este se verá afectado hasta que dicha carga sea retirada, pues volverá a su estado original.

Plásticas: estas deformaciones son de modo un poco permanentes, ya que cuando el elemento recibe las cargas, este sufre una alteración en su estado físico y le es imposible regresar a su estado original, esto quiere decir que rebasa su límite elástico.

ESPECTRO DE RESPUESTA SÍSMICA

Un espectro de respuesta sísmica es una representación de la interacción del suelo con una vibración sísmica para poder evaluar su comportamiento.

Las estructuras reaccionan a las condiciones del suelo, cuando sucede un sismo, el suelo se mueve con respecto a un punto estático y el edificio se mueve respecto al movimiento del suelo. Los edificios pueden moverse con diferentes periodos de vibración, debido a varios factores como son: materiales empleados, configuración estructural, condiciones del suelo, entre otras.

Lo peor que puede pasarle a un edificio, es que este se mueva igual que el suelo, quiere decir que el periodo del suelo, coincida con el periodo de la estructura, a esto se le conoce como **resonancia**. Si la estructura entra en resonancia los esfuerzos y desplazamientos se amplifican enormemente dando lugar a posibles daños estructurales y colapsos. (Lascano, 2015).

ESPECTROS DE AMPLITUDES DE FOURIER

Mediante los espectros de amplitudes de Fourier es posible conocer las frecuencias dominantes de la señal, que corresponde al valor de la máxima amplitud, determinando su correspondiente frecuencia. Se calculan las frecuencias dominantes para las señales sísmicas a nivel de roca y suelo. (Lozano, 2007).

COCIENTES ESPECTRALES

El método H/V, también conocido como método de Nakamura, es una técnica sísmica pasiva de recolección de datos de microtemores o vibraciones ambientales de un terreno, se obtienen los datos en sus tres direcciones, de Este-Oeste, Norte-Sur y su componente vertical. Con esto se obtiene la frecuencia de resonancia del suelo estudiado. El cálculo consiste en dividir los espectros de Fourier de las componentes horizontales respecto al espectro de la componente vertical, actualmente existen varios softwares que pueden hacer esto.

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 405.- Clasificación de las construcciones. Para efectos de este Título las construcciones se clasifican en los siguientes grupos de acuerdo con el Manual de Diseño Sísmico de Edificios para Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad.

Grupo A: edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancia tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana como: hospitales, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias flamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia. En este mismo rubro se incluirían las **edificaciones de los centros escolares** debido a la importancia social de sus ocupantes; así mismo, se considerarán a los edificios públicos que alberguen a las autoridades responsables de la atención de una emergencia, independientemente del tipo de la misma, y edificaciones que estén consideradas para su uso como albergue durante la ocurrencia de una emergencia.

Tabla 53. Valores de a_0 , c , T_a , T_b y r , para estructuras del grupo A ** para distintas zonas sísmicas.

Zona * sísmica	Tipo de suelo	a_0	c	T_a ¹	T_b ¹	r
A	I	0.03	0.12	0.20	0.60	1/2
	II	0.06	0.24	0.30	1.50	2/3
	III	0.08	0.30	0.60	2.90	1
B	I	0.06	0.21	0.20	0.60	1/2
	II	0.12	0.45	0.30	1.50	2/3
	III	0.15	0.54	0.60	2.90	1
C	I	0.54	0.54	0.00	0.60	1/2
	II	0.96	0.96	0.00	1.40	2/3
	III	0.96	0.96	0.00	1.90	1

Imagen 4. Valores de c para estructuras del grupo A

Ecuación de capacidad de deformación equivalente

$$U_{NF} = \frac{QTn^2cg}{4\pi^2}$$

T_n = periodo fundamental de vibrar

Q = Factor de comportamiento sísmico

C = coeficiente de diseño sísmico

g = gravedad

Para Q, utilizaremos el valor de 2, ya que la zona de estudio se encuentra en zona sísmica B y con un tipo de suelo II, estos datos son obtenidos en las imágenes 1 y 2, pertenecientes a las NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO CON COMENTARIOS.

Para C, utilizaremos el valor de 0.45, puesto que pertenece a una zona sísmica B, con tipo de suelo 2 y forma parte del grupo de estructuras tipo A, datos obtenidos de la imagen 4, que pertenece a NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIOS, PROYECTOS, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIONES.

4.- PROCESO DE APLICACIÓN PARA INSTRUMENTAR

1. Identificar y elegir los edificios a instrumentar
2. Recolección de datos de los edificios elegidos
3. Acceder a los puntos de interés a instrumentar de los edificios correspondientes
4. Ubicar el centro geométrico del edificio
5. Ubicar y orientar el equipo en el centro geométrico
6. Nivelar el equipo
7. Conectar el equipo a la alimentación o a la batería portátil
8. Conectar a la computadora con el cable correspondiente (ethernet)
9. Configurar la computadora para la red mediante un enlace vía IP
10. Accedemos al equipo con el usuario y contraseña correspondiente
11. Configurar el equipo para que pueda hacer la instrumentación
12. Iniciar la instrumentación y esperar hasta que culmine con el tiempo que se configuró
13. Descargar el archivo
14. Desconectar el equipo

5.-ANÁLISIS DE LOS REGISTROS

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS EDIFICIOS A INSTRUMENTAR

El Instituto Tecnológico de Apizaco (ITA), actualmente perteneciente a Tecnológico Nacional de México, es una institución pública de nivel superior ubicada en Tzompantepec, Tlaxcala, México.

Esta institución será sede de los edificios a instrumentar.

Edificio 1

Al que se ha denominado “Edificio P”, esta estructura está compuesta básicamente por marcos rígidos de concreto armado (columnas y vigas). Esta cuenta con una cimentación de zapatas aisladas. Inaugurado en el año de 1994, siendo denominado internamente por UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍAS “ING. ALEJANDRO GUILLOT SHIAFFINI”.



Imagen 5. Edificio P, UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍAS “ING. ALEJANDRO GUILLOT SHIAFFINI”

Edificio 2



Imagen 6. Edificio Z, "UNIDAD DE CUERPOS ACADÉMICOS Y POSGRADO".

Al que se ha denominado "Edificio Z", esta estructura también está compuesta por marcos rígidos de concreto armado (columnas y vigas). Esta cuenta con una cimentación de zapatas aisladas. Inaugurado en el año de 2005, siendo denominado internamente por "UNIDAD DE CUERPOS ACADÉMICOS Y POSGRADO".

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA

Gran importancia para este trabajo, son las características geográficas de la zona, que se encuentra cerca de la zona de estudio, el tipo de suelo, relieve, vegetación, etc.

Territorio

El ITA se encuentra ubicado en Tzompantepec, Tlaxcala, sobre la avenida Instituto Tecnológico S/N, con una altitud de 2392 metros, una latitud de 19° 24' 28" al norte y una longitud de 98° 7' 15" al oeste. Cuenta con un territorio de aproximadamente 25 hectáreas

Hidrografía

El municipio de Tzompantepec cuenta con pocos cuerpos de agua, entre los más destacados el río de Atenco y el arroyo de Amomoloc.

Geología

La zona de tzompantepec se encuentra constituida principalmente de 2 tipos de rocas ígneas extrusivas, intermedia con un (4.37%) y toba ácida (11.31%). En cuestión de suelo, se cuenta con un suelo tipo aluvial con un (40.46%).

APLICACIÓN (INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA)

Edificio P

Para los registros del edificio P, se tomaron 3 puntos por todo el edificio, 2 puntos en la azotea y uno en planta baja. En la azotea se tomará el centro geométrico y la esquina suroeste, el de planta baja será al centro geométrico.



Imagen 7. Vibración Ambiental, Edificio P, Punto 01, Centro Geométrico, Azotea



Imagen 8. Vibración Ambiental, Edificio P, Punto 02, Esquina Suroeste, Azotea



Imagen 9. Vibración Ambiental, Edificio P, Punto 03, Centro Geométrico, Planta baja

Edificio Z

Para los registros del edificio Z, se tomaron 3 puntos por todo el edificio, 2 puntos en la azotea y uno en planta baja. En la azotea se tomará el centro geométrico y la esquina suroeste, el de planta baja será al centro geométrico.



Imagen 10. Vibración Ambiental, Edificio Z, Punto 01, Centro Geométrico, Azotea



Imagen 12. Vibración Ambiental, Edificio Z, Punto 03, Centro Geométrico, Planta baja



Imagen 11. Vibración Ambiental, Edificio Z, Punto 02, Esquina Suroeste, Azotea

REGISTROS OBTENIDOS (BITACORA)

Para este proyecto se utilizó un acelerógrafo modelo BASALT 4X de la marca Kinemetrics. Este equipo cuenta con un software que permite la conexión y transferencia de datos del acelerógrafo al pc por medio de una dirección IP, este software nos indica el estado del equipo, configuraciones, memoria para guardar los registros, entre otras opciones.

Registro de edificio P

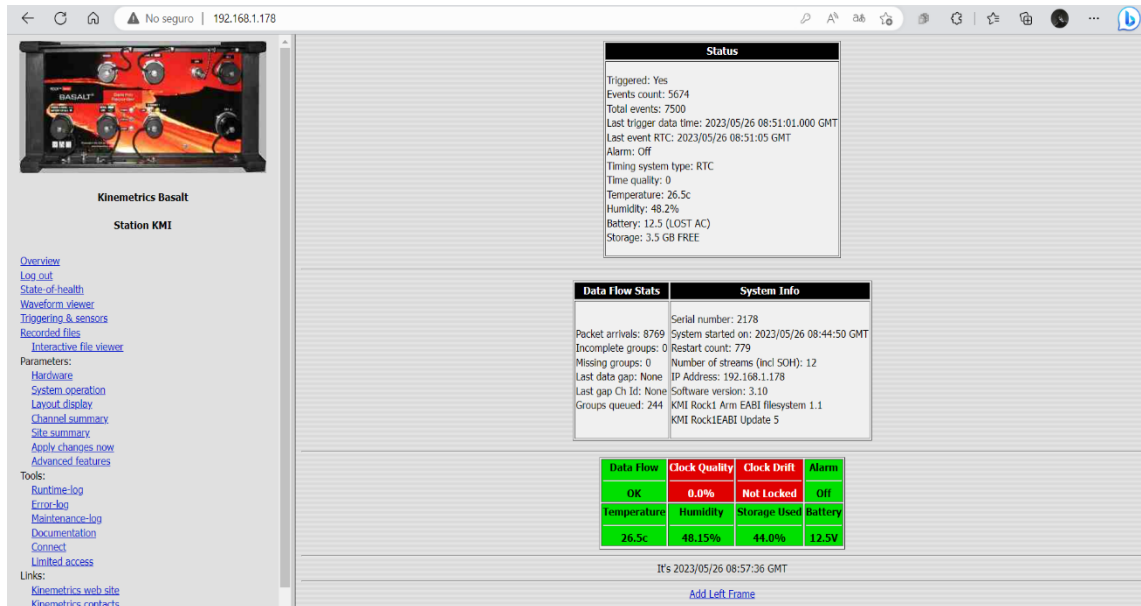


Imagen 13. Edificio P, Punto-01 Centro Geométrico - Azotea

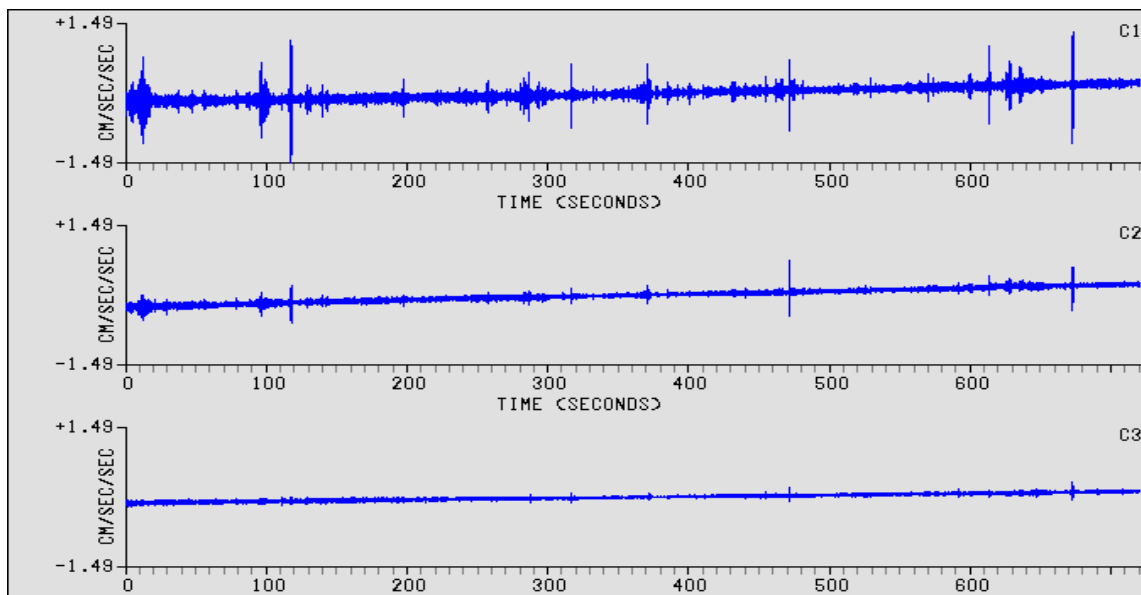


Imagen 14. Registro de Edificio P, P-01 Centro Geométrico - Azotea.

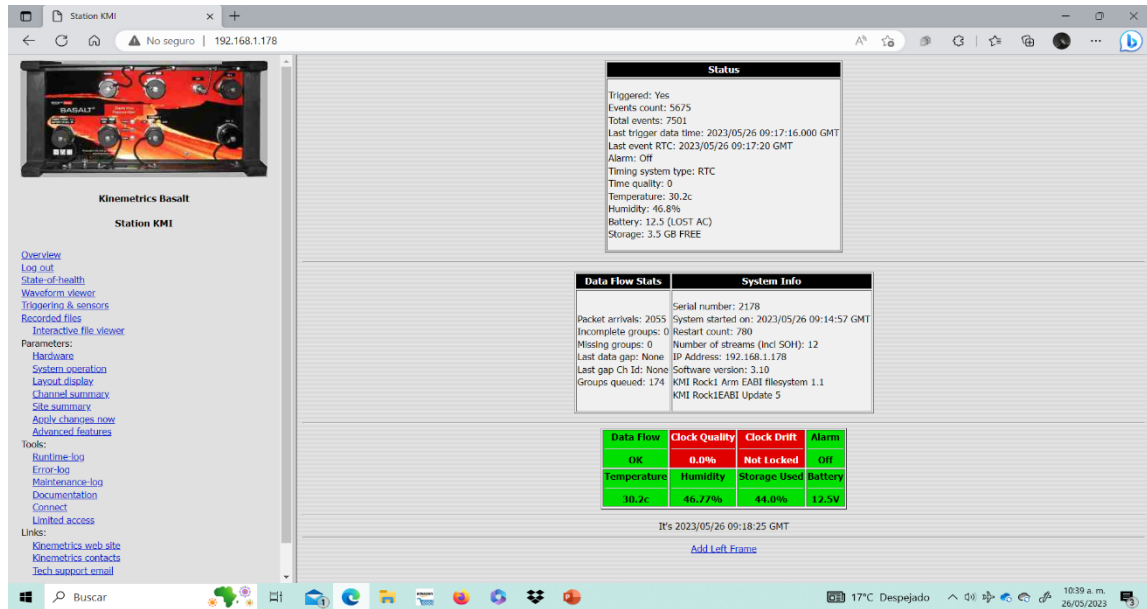


Imagen 15. Edificio P, P-02 Esquina Suroeste - Azotea.

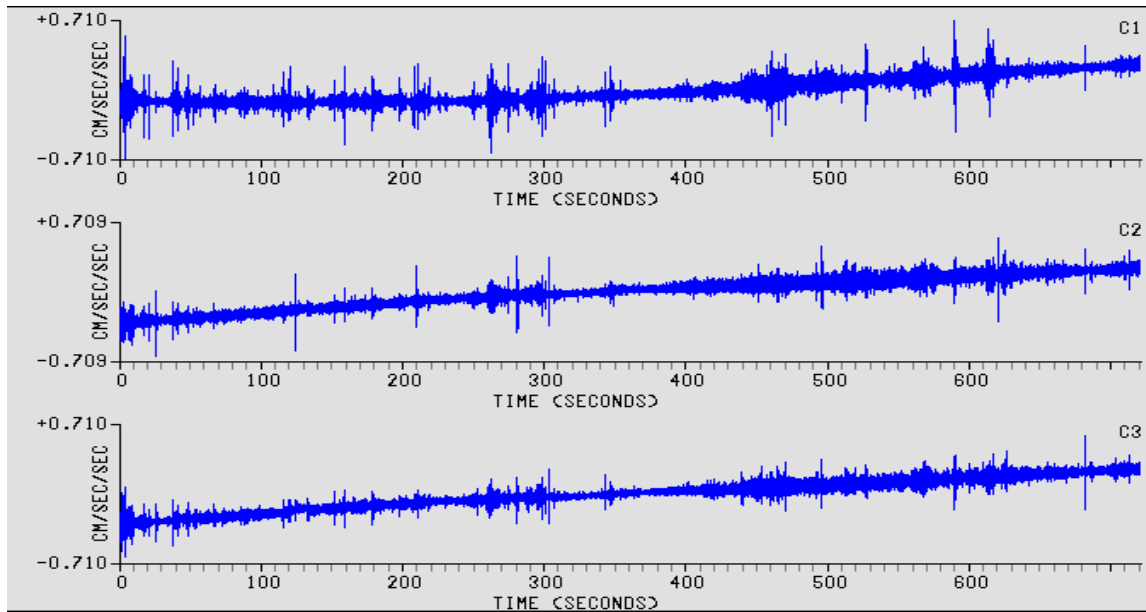


Imagen 16. Registro de Edificio P, P-02 Esquina Suroeste - Azotea.

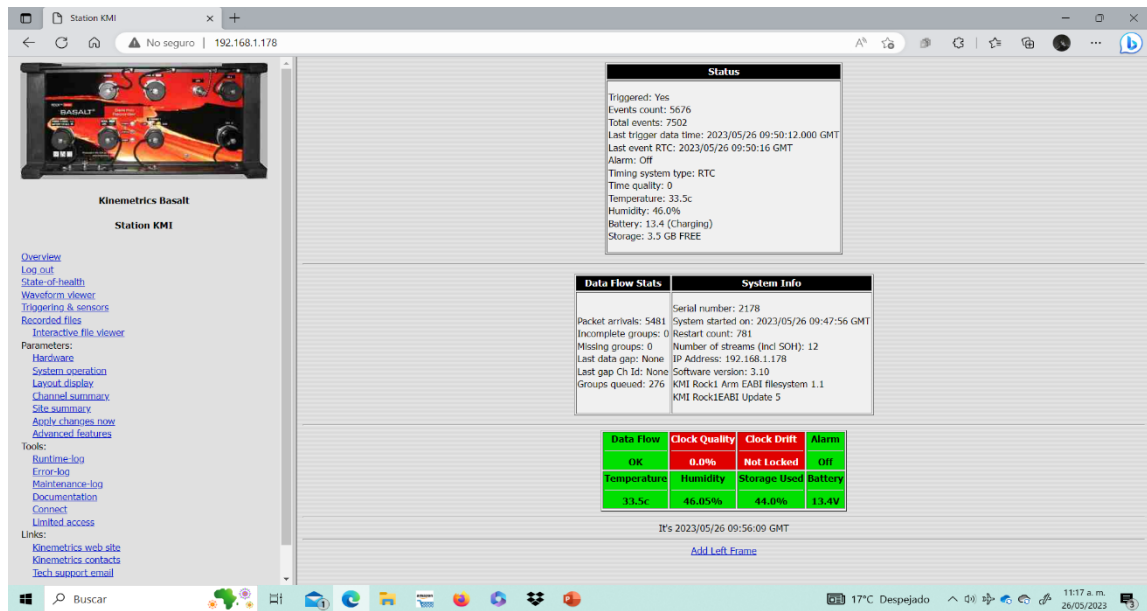


Imagen 18. Edificio P, Punto-03 Centro Geométrico – Planta Baja

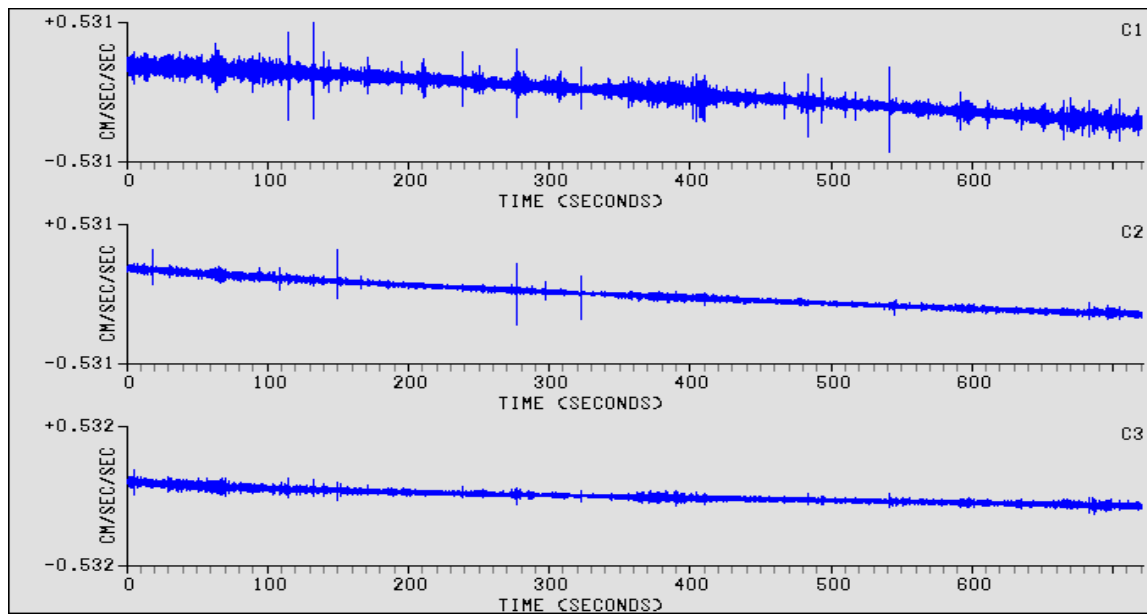


Imagen 17. Registro de Edificio P, Punto-03 Centro Geométrico – Planta Baja

Registro de edificio Z

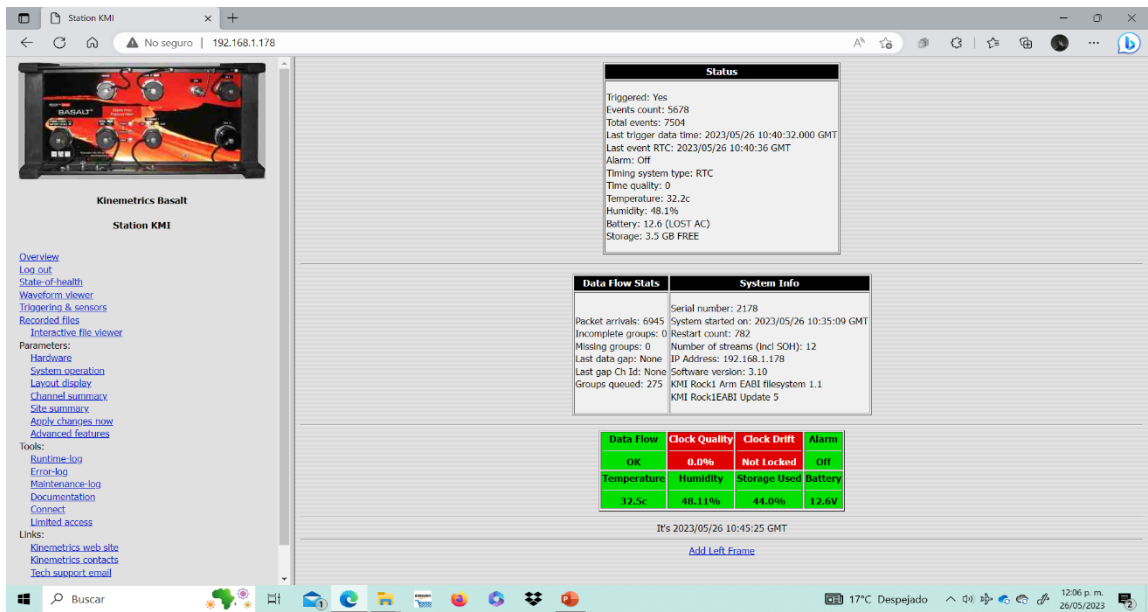


Imagen 20. Edificio Z, Punto-01 Centro Geométrico – Azotea.

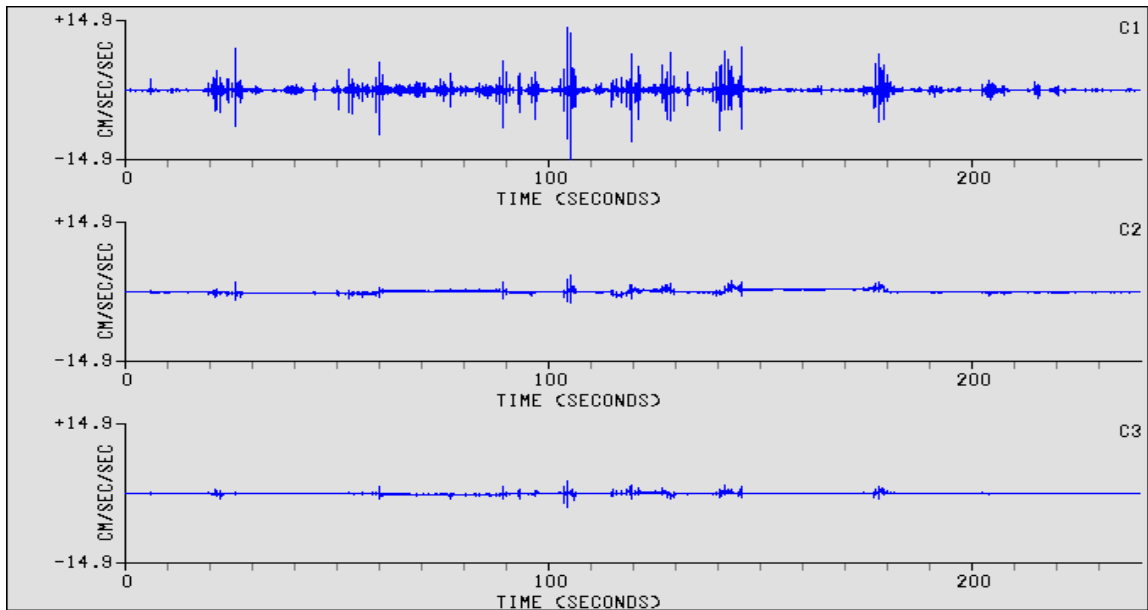


Imagen 19. Registro de 3 min. En Edificio Z, P-01 Centro Geométrico - Azotea.

Nota importante

Al instalar el equipo y esperar que encendiera, el acelerógrafo se activó solo y registro vibraciones durante casi 3 minutos, por lo que cancelamos la actividad y procedimos a iniciar el registro de 10 minutos que estábamos utilizando. Mencionar que el equipo normalmente se activa solo cuando registra vibraciones significativas.

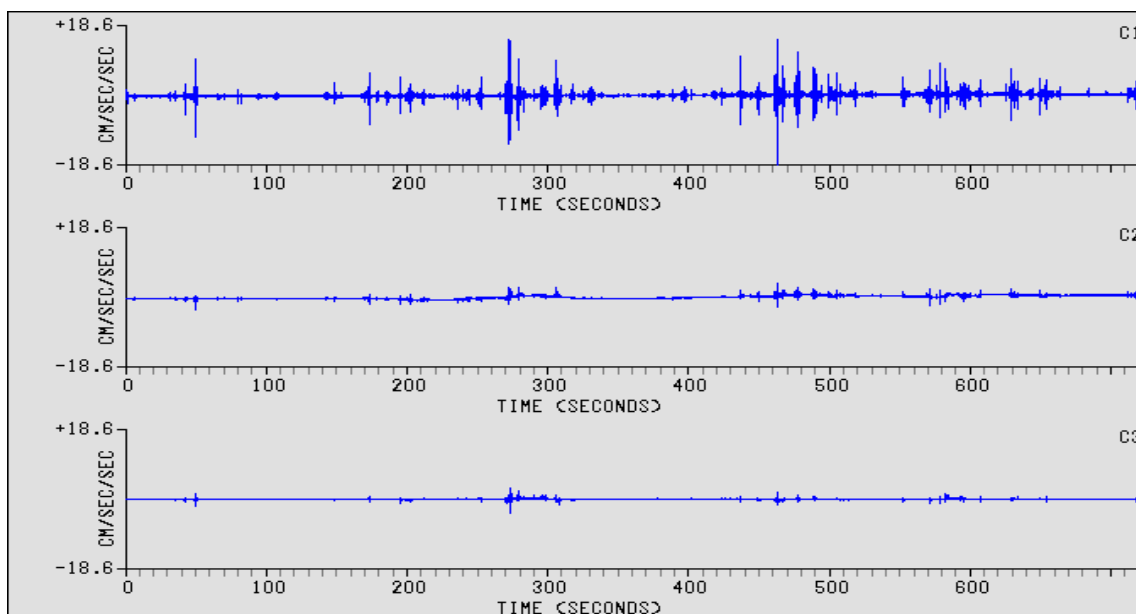


Imagen 22. Registro de Edificio Z, P-01 Centro Geométrico - Azotea.

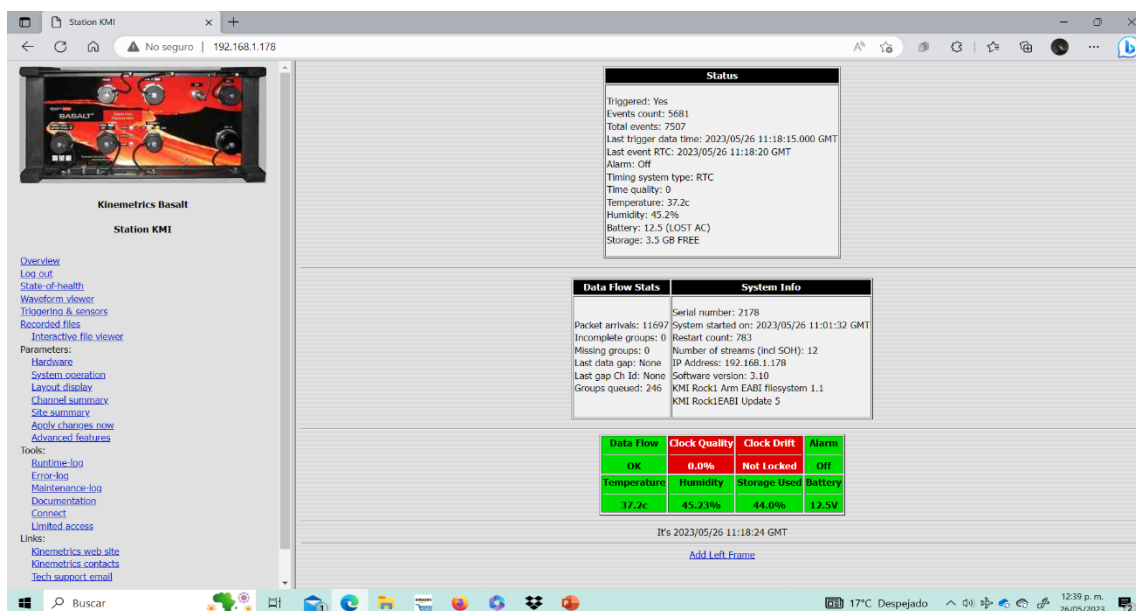


Imagen 21. Edificio Z, P-02 Esquina Suroeste - Azotea.

Por cuestiones técnicas el acelerógrafo no registró las vibraciones y no generó el registro, por lo que para este edificio no se podrá obtener el cociente espectral para torsión.

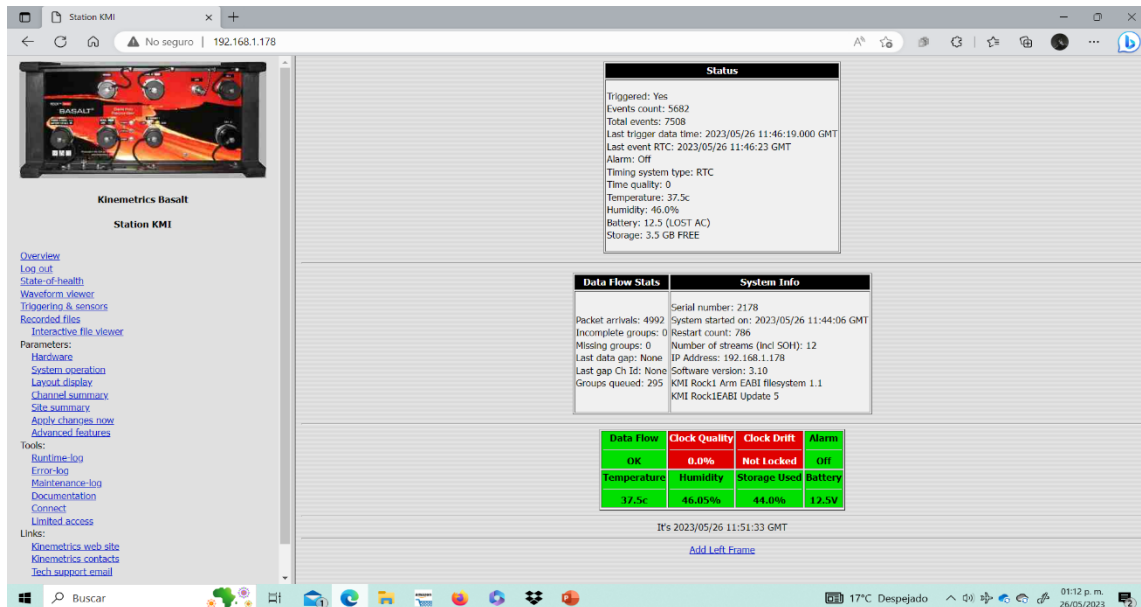


Imagen 24. Edificio Z, Punto-03 Centro Geométrico – Planta Baja

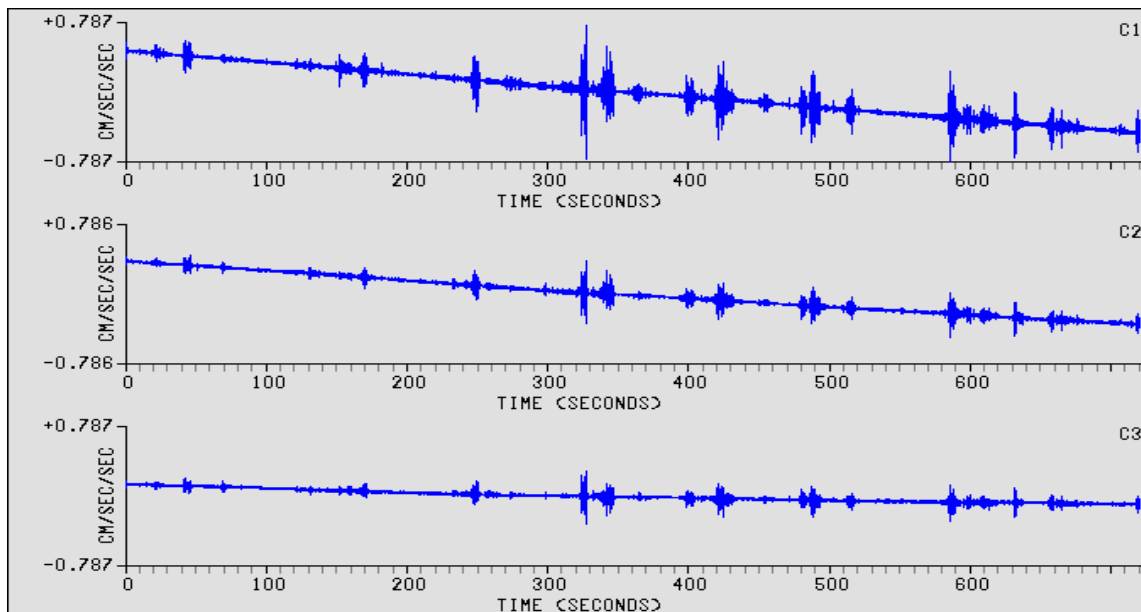


Imagen 23. Registro de Edificio Z, Punto-03 Centro Geométrico – Planta Baja

SOFTWARE GEOPSY

El equipo de Geopsy está desarrollando, distribuyendo y manteniendo software de código abierto para investigación y aplicaciones geofísicas. Nacido durante el proyecto europeo SESAME, ha proporcionado herramientas para procesar vibraciones ambientales con la caracterización del sitio en mente desde 2005. Progresivamente, se incluyen técnicas más convencionales (como MASW o refracción) para ofrecer una plataforma gratuita, completa y de alta calidad para la interpretación de experimentos geofísicos.

Para este proyecto nos será de gran utilidad este software con versión 2.7.4, para poder interpretar los archivos con extensión (.sac), ya que lo utilizaremos para obtener los espectros de amplitudes de Fourier de forma gráfica y tabular, datos que ocuparemos para obtener el los cocientes espectrales.

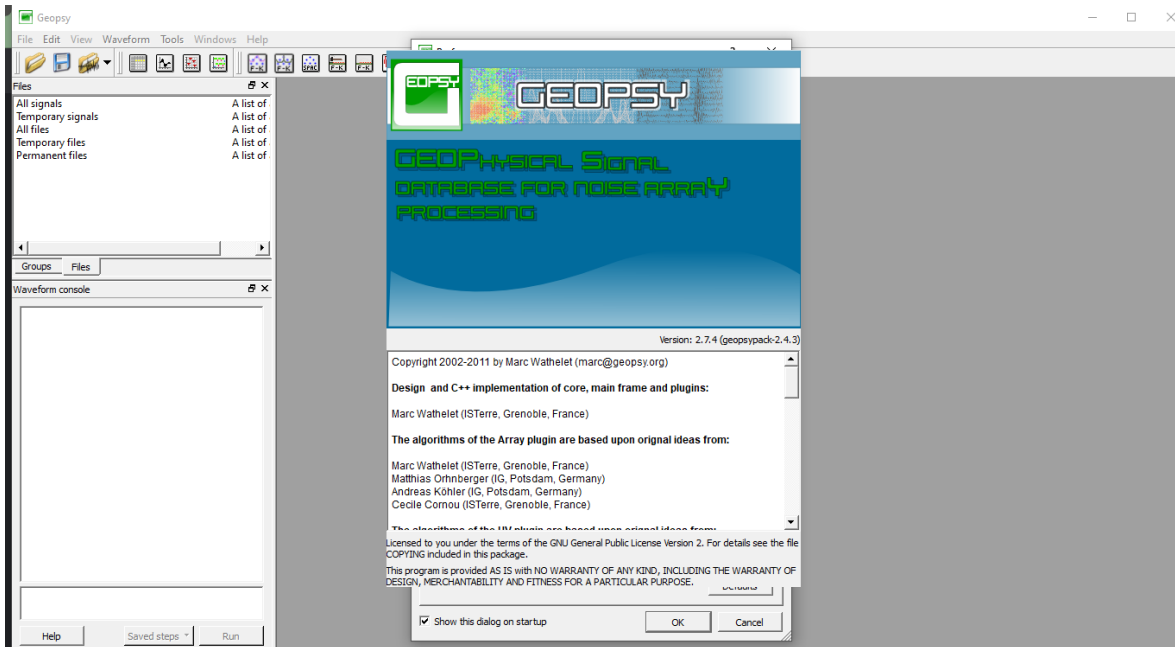


Imagen 25.- Interfaz software GEOPSY

ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER Edificio P

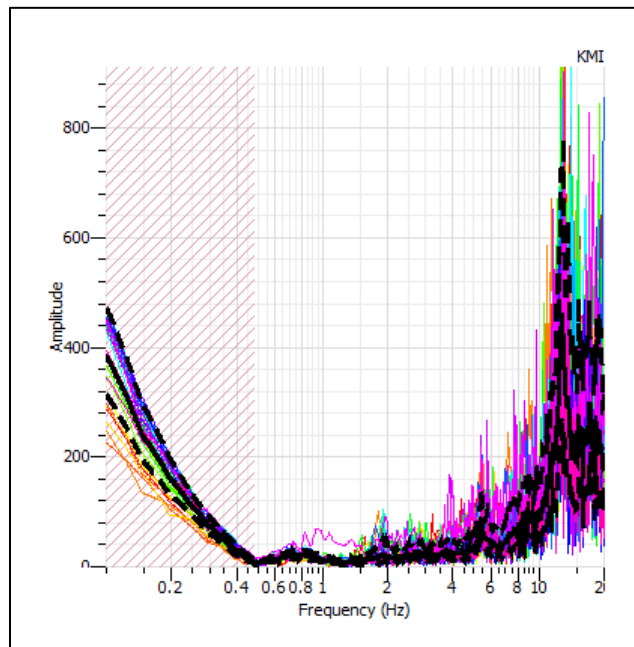


Imagen 26. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-01, CH1

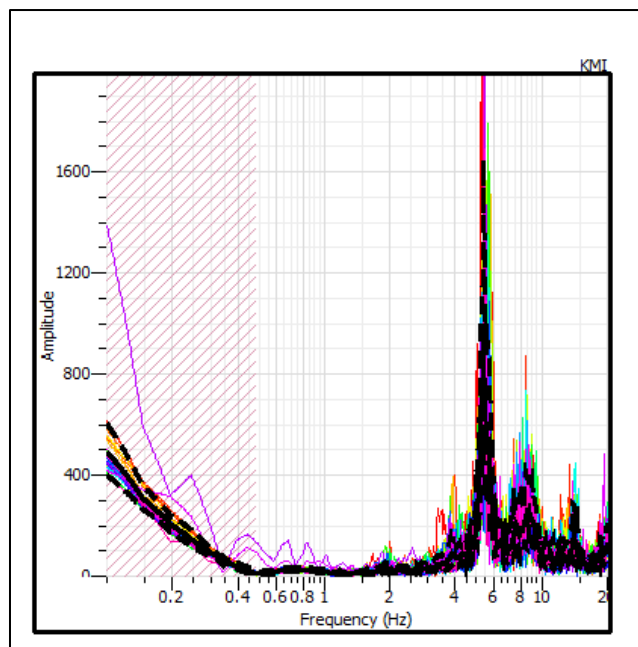


Imagen 27. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-01, CH2

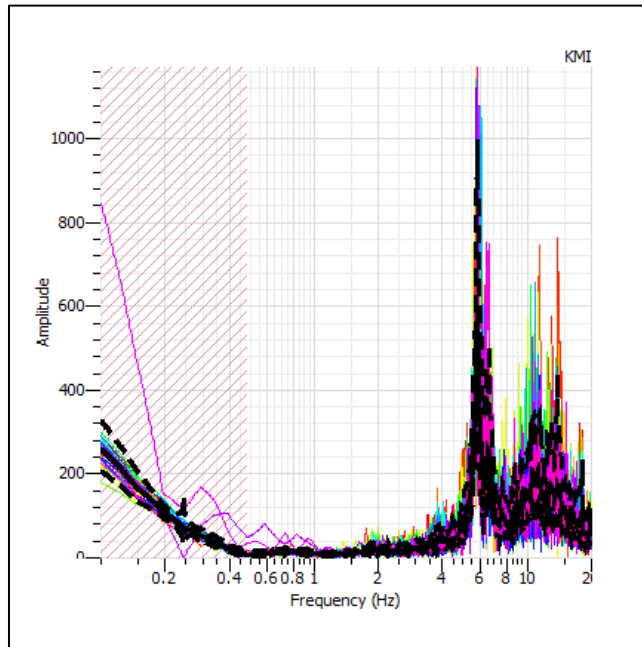


Imagen 28. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-01, CH3

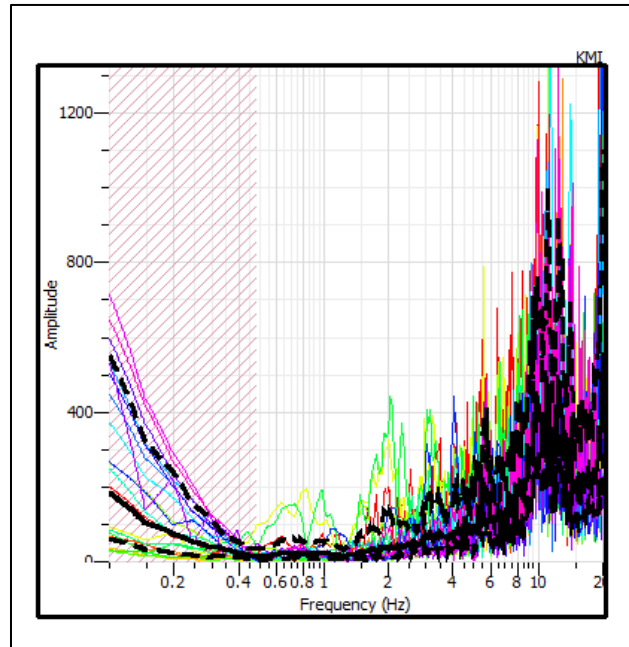


Imagen 29 .Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-02, CH1

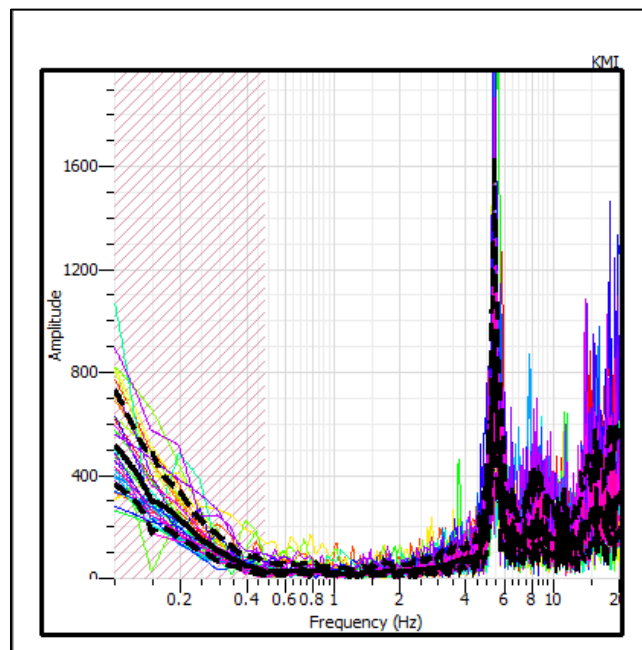


Imagen 30. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-02, CH2

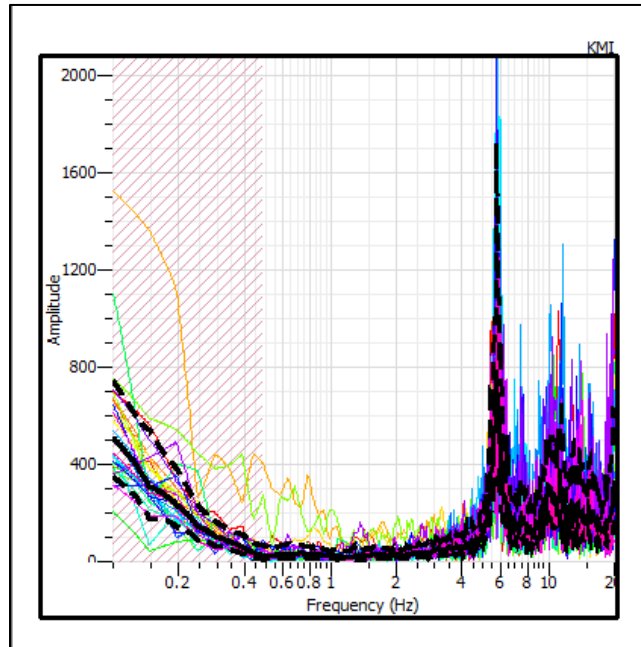


Imagen 31. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-02, CH3

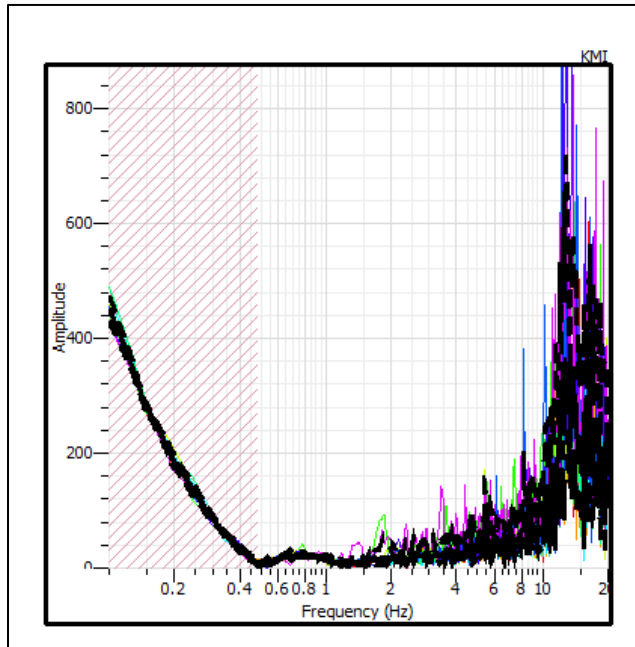


Imagen 32. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-03, CH1

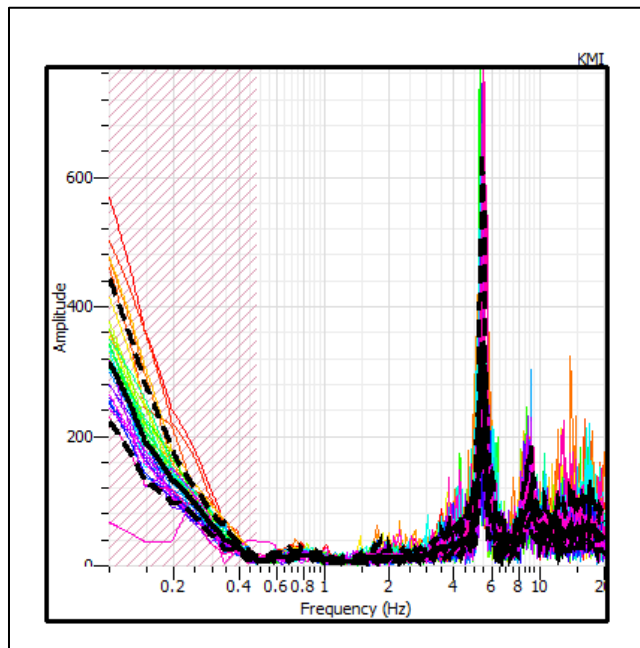


Imagen 33. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-03, CH2

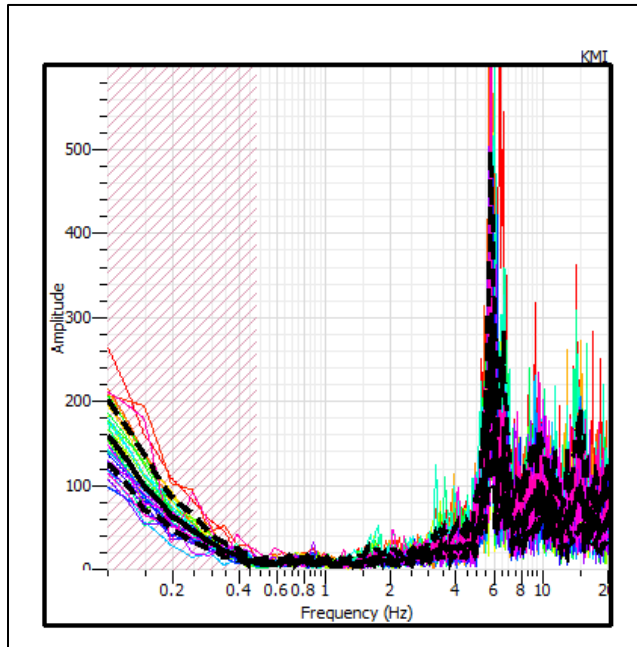


Imagen 34. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio P, Punto-03, CH3

EDIFICIO Z

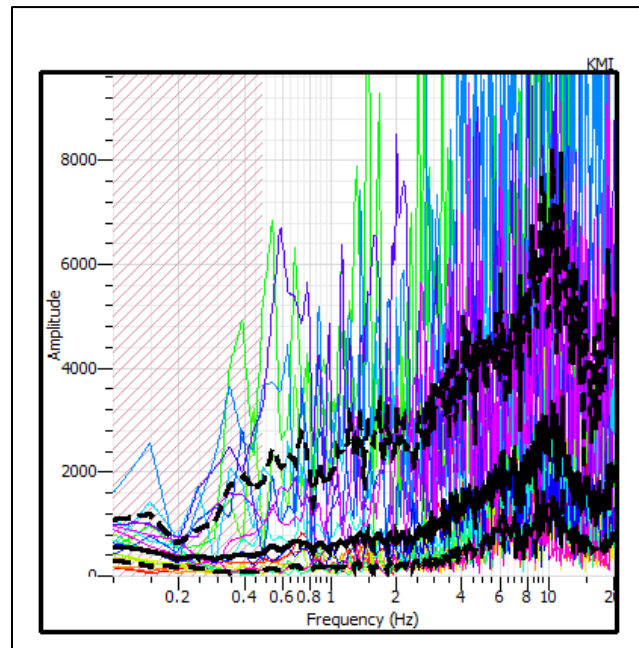


Imagen 36. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio Z, Punto-01, CH1

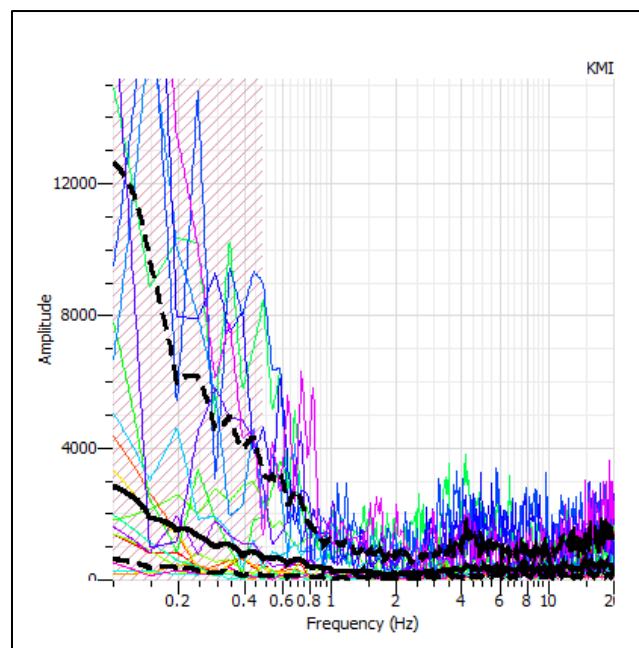


Imagen 35. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio Z, Punto-01, CH2

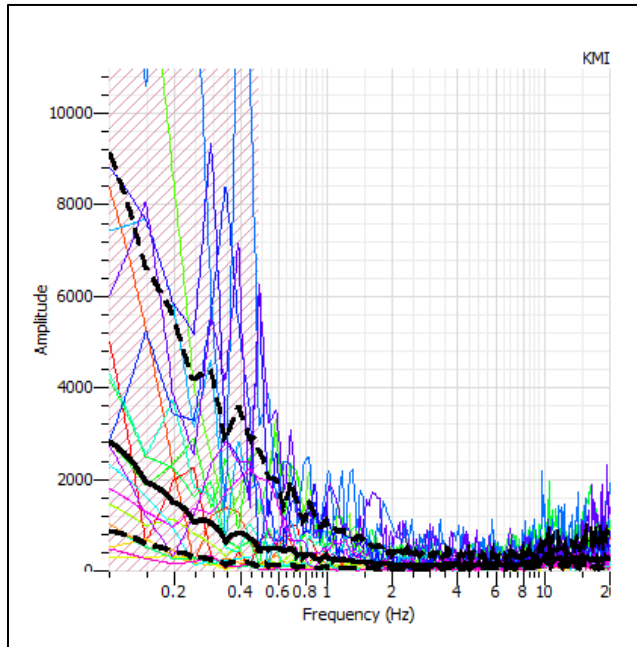


Imagen 37. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio Z, Punto-01, CH3

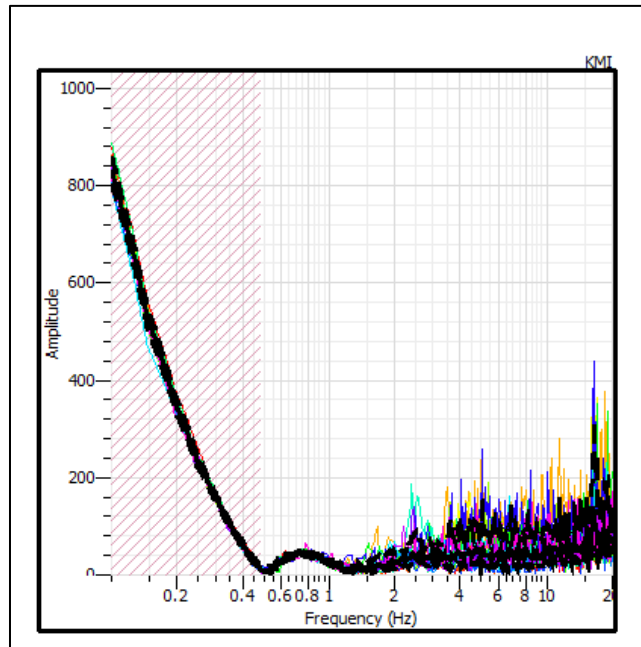


Imagen 39. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio Z, Punto-03, CH1

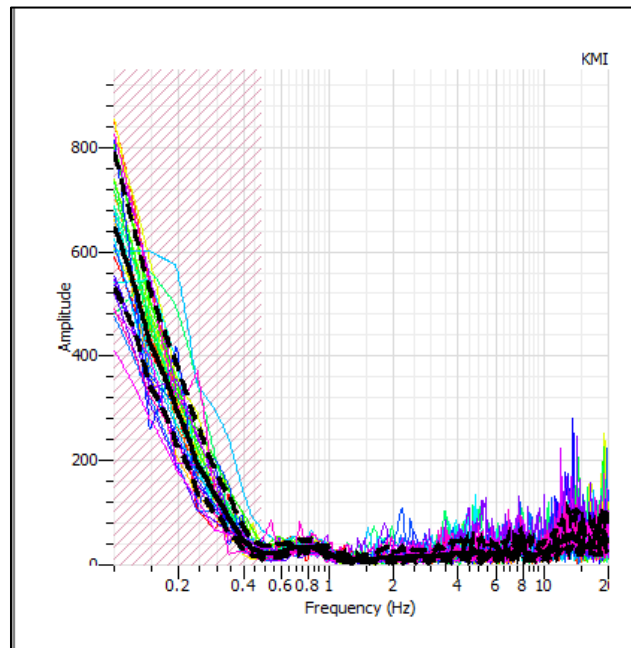


Imagen 38. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio Z, Punto-03, CH2

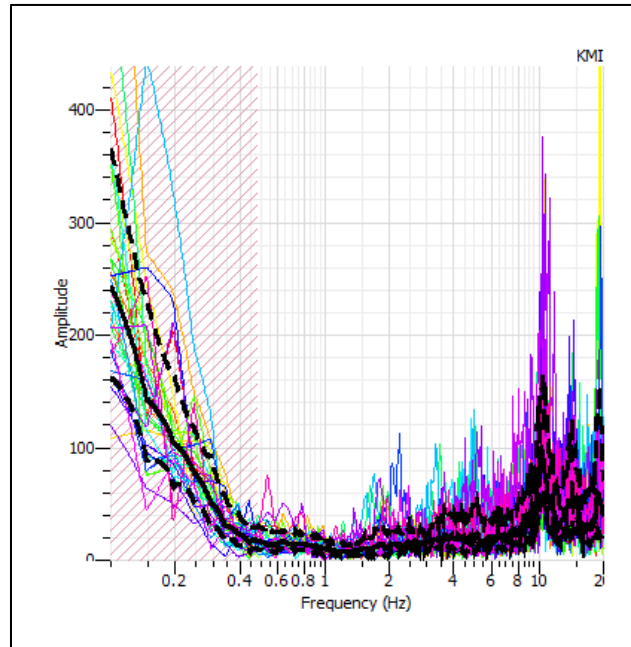


Imagen 40. Espectro de Amplitudes de Fourier, Edificio Z, Punto-03, CH3

RESULTADOS OBTENIDOS DE GEOPSY EDIFICIO P

Edificio P	PO1- Centro Geométrico Azotea			P02-Esquina Suroeste Azotea			PO3- Centro Geométrico Planta Baja		
	EAF-P01 CH1	EAF-P01 CH2	EAF-P01 CH3	EAF-P02 CH1	EAF-P02 CH2	EAF-P02 CH3	EAF-P03 CH1	EAF-P03 CH2	EAF-P03 CH3
0.1	384.02	490.59	259.59	183.40	516.73	507.05	450.34	313.75	158.82
0.101042	380.79	486.50	257.55	181.68	512.43	503.08	446.60	311.04	157.51
0.102095	377.54	482.36	255.49	179.94	508.08	499.07	442.81	308.30	156.19
0.103159	374.24	478.18	253.40	178.17	503.67	494.99	438.99	305.53	154.85
0.104235	370.91	473.95	251.29	176.39	499.20	490.87	435.13	302.73	153.50
0.105321	367.55	469.67	249.16	174.59	494.68	486.68	431.22	299.90	152.13
0.106419	364.15	465.36	247.01	172.77	490.09	482.44	427.28	297.04	150.75
0.107528	360.71	460.99	244.84	170.92	485.45	478.14	423.29	294.14	149.35
0.108649	357.24	456.58	242.64	169.06	480.74	473.77	419.26	291.22	147.93
0.109781	353.74	452.12	240.42	167.17	475.97	469.35	415.19	288.26	146.50
0.110925	350.19	447.61	238.17	165.26	471.14	464.86	411.07	285.27	145.05
0.112081	346.61	443.06	235.90	163.33	466.24	460.30	406.92	282.25	143.59
0.113249	342.99	438.46	233.61	161.37	461.27	455.68	402.72	279.19	142.11
0.11443	339.33	433.80	231.29	159.39	456.23	450.99	398.47	276.11	140.61
0.115622	335.63	429.10	228.94	157.38	451.11	446.23	394.18	272.98	139.09
0.116827	331.90	424.35	226.57	155.35	445.93	441.39	389.85	269.82	137.55
0.118045	328.12	419.54	224.18	153.30	440.66	436.47	385.47	266.63	136.00
0.119275	324.31	414.69	221.76	151.22	435.32	431.48	381.04	263.40	134.42
0.120519	320.45	409.78	219.31	149.11	429.90	426.41	376.57	260.14	132.83
0.121775	316.55	404.81	216.84	146.98	424.38	421.25	372.05	256.84	131.22
0.123044	312.62	399.80	214.34	144.82	418.79	416.01	367.48	253.50	129.59
0.124326	308.64	394.73	211.82	142.63	413.09	410.67	362.86	250.12	127.94
0.125622	304.61	389.60	209.26	140.41	407.30	405.24	358.20	246.71	126.27
0.126931	300.55	384.42	206.68	138.16	401.41	399.71	353.49	243.25	124.57
0.128254	296.44	379.18	204.07	135.88	395.41	394.07	348.72	239.76	122.86
0.129591	292.29	373.88	201.43	133.57	389.29	388.32	343.91	236.23	121.12
0.130942	288.09	368.53	198.76	131.22	383.04	382.46	339.05	232.65	119.36
0.132306	283.85	363.11	196.07	128.84	376.67	376.46	334.13	229.03	117.57
0.133685	279.56	357.64	193.34	126.42	370.14	370.34	329.16	225.37	115.77
0.135079	275.23	352.10	190.59	123.96	363.45	364.07	324.14	221.67	113.93
0.136487	270.85	346.50	187.80	121.46	356.58	357.65	319.07	217.92	112.07
0.137909	266.42	340.84	184.98	118.92	349.49	351.05	313.94	214.13	110.19
0.139346	261.95	335.12	182.13	116.34	342.16	344.26	308.76	210.29	108.28
0.140799	257.43	329.33	179.25	113.70	334.52	337.27	303.52	206.40	106.33
0.142266	252.86	323.47	176.34	111.01	326.49	330.03	298.23	202.47	104.36

0.143749	248.23	317.55	173.39	108.27	317.93	322.51	292.88	198.48	102.36
0.145247	243.56	311.55	170.41	105.46	308.54	314.65	287.47	194.44	100.32
0.146761	239.27	306.03	167.63	103.00	299.81	307.67	282.48	190.79	98.45
0.148291	236.87	302.91	165.85	102.41	299.54	306.16	279.60	189.05	97.45
0.149836	234.45	299.75	164.04	101.79	298.84	304.57	276.70	187.29	96.44
0.151398	232.00	296.56	162.22	101.15	297.84	302.89	273.76	185.50	95.42
0.152976	229.53	293.33	160.38	100.47	296.58	301.14	270.78	183.69	94.38
0.15457	227.02	290.07	158.51	99.77	295.13	299.30	267.78	181.86	93.32
0.156181	224.49	286.77	156.62	99.04	293.50	297.39	264.75	180.01	92.25
0.157809	221.94	283.43	154.71	98.29	291.72	295.40	261.68	178.13	91.16
0.159454	219.35	280.06	152.78	97.51	289.80	293.32	258.58	176.22	90.05
0.161116	216.74	276.65	150.83	96.70	287.76	291.17	255.45	174.29	88.92
0.162795	214.10	273.20	148.85	95.86	285.60	288.94	252.28	172.33	87.78
0.164492	211.43	269.72	146.85	94.99	283.33	286.64	249.08	170.35	86.61
0.166206	208.73	266.19	144.82	94.09	280.96	284.25	245.84	168.34	85.42
0.167938	206.01	262.63	142.77	93.16	278.49	281.77	242.58	166.30	84.22
0.169689	203.25	259.03	140.70	92.20	275.93	279.22	239.27	164.23	82.99
0.171457	200.46	255.38	138.59	91.21	273.27	276.58	235.93	162.13	81.74
0.173244	197.64	251.70	136.47	90.18	270.51	273.86	232.56	160.00	80.47
0.17505	194.79	247.97	134.31	89.12	267.67	271.04	229.14	157.85	79.17
0.176874	191.91	244.20	132.13	88.03	264.74	268.14	225.70	155.66	77.84
0.178718	189.00	240.39	129.91	86.89	261.72	265.14	222.21	153.44	76.49
0.18058	186.05	236.54	127.67	85.73	258.61	262.04	218.69	151.19	75.11
0.182463	183.07	232.64	125.40	84.52	255.41	258.84	215.12	148.90	73.70
0.184364	180.06	228.69	123.10	83.27	252.13	255.54	211.52	146.58	72.26
0.186286	177.01	224.70	120.76	81.97	248.75	252.13	207.88	144.22	70.77
0.188227	173.93	220.66	118.39	80.63	245.28	248.60	204.20	141.82	69.25
0.190189	170.81	216.57	115.98	79.25	241.72	244.95	200.48	139.39	67.68
0.192171	167.66	212.44	113.53	77.81	238.07	241.17	196.72	136.92	66.06
0.194174	164.47	208.25	111.05	76.31	234.31	237.26	192.92	134.41	64.37
0.196198	161.79	204.81	109.00	75.12	230.83	233.56	189.76	132.47	63.14
0.198243	159.78	202.36	107.55	74.36	227.75	230.25	187.45	131.27	62.55
0.200309	157.75	199.88	106.08	73.58	224.62	226.88	185.11	130.03	61.95

Tabla 1. Espectros de Amplitudes de Fourier, Edificio P

Ver tabla completa en anexos

RESULTADOS OBTENIDOS DE GEOPSY EDIFICIO Z

Edificio Z	PO1- Centro Geométrico Azotea			P02-Esquina Suroeste Azotea			PO3- Centro Geométrico Planta Baja		
	EAf-P01 CH1	EAf-P01 CH2	EAf-P01 CH3	EAf- P02 CH1	EAf- P02 CH2	EAf- P02 CH3	EAf- P03 CH1	EAf- P03 CH2	EAf- P03 CH3
0.100000	565.50	2827.85	2823.86				831.12	647.45	243.34
0.101042	564.72	2817.89	2809.67				824.26	642.65	241.52
0.102084	563.86	2807.36	2795.13				817.32	637.79	239.66
0.103159	562.92	2796.24	2780.23				810.31	632.87	237.77
0.104235	561.90	2784.55	2764.97				803.22	627.89	235.84
0.105321	560.80	2772.26	2749.33				796.06	622.85	233.88
0.106419	559.62	2759.38	2733.32				788.83	617.75	231.88
0.107528	558.36	2745.89	2716.91				781.52	612.59	229.83
0.108649	557.01	2731.78	2700.09				774.14	607.37	227.75
0.109781	555.58	2717.04	2682.87				766.67	602.08	225.63
0.110925	554.07	2701.66	2665.22				759.13	596.73	223.46
0.112081	552.47	2685.62	2647.14				751.52	591.31	221.25
0.113249	550.78	2668.91	2628.61				743.82	585.83	219.00
0.11443	549.00	2651.50	2609.62				736.04	580.28	216.70
0.115622	547.13	2633.39	2590.15				728.18	574.65	214.36
0.116827	545.16	2614.54	2570.19				720.23	568.96	211.97
0.118045	543.10	2594.93	2549.73				712.21	563.20	209.53
0.119275	540.95	2574.54	2528.73				704.10	557.36	207.04
0.120519	538.69	2553.34	2507.20				695.90	551.45	204.50
0.121775	536.34	2531.28	2485.09				687.62	545.47	201.91
0.123044	533.88	2508.34	2462.39				679.26	539.40	199.26
0.124326	531.31	2484.46	2439.08				670.80	533.26	196.56
0.125622	528.63	2459.60	2415.12				662.26	527.04	193.80
0.126931	525.85	2433.70	2390.48				653.63	520.74	190.97
0.128254	522.94	2406.70	2365.12				644.90	514.35	188.08
0.129591	519.92	2378.51	2339.00				636.09	507.87	185.13
0.130942	516.78	2349.05	2312.08				627.18	501.31	182.10
0.132306	513.51	2318.21	2284.29				618.18	494.66	179.00
0.133685	510.11	2285.84	2255.57				609.09	487.91	175.83
0.135079	506.58	2251.79	2225.84				599.90	481.07	172.57
0.136487	502.91	2215.82	2195.01				590.61	474.14	169.23
0.137909	499.09	2177.66	2162.94				581.23	467.10	165.79
0.139346	495.13	2136.92	2129.49				571.75	459.95	162.25
0.140799	491.00	2093.02	2094.45				562.17	452.70	158.60

0.142266	486.71	2045.10	2057.54				552.48	445.34	154.83
0.143749	482.25	1991.70	2018.36				542.70	437.85	150.94
0.145247	477.61	1930.02	1976.32				532.81	430.24	146.89
0.146761	473.17	1868.94	1938.16				523.68	423.25	143.32
0.148291	470.32	1867.96	1932.34				518.37	419.52	142.50
0.149836	467.33	1866.22	1925.80				512.99	415.73	141.65
0.151398	464.21	1863.74	1918.57				507.56	411.89	140.76
0.152976	460.96	1860.50	1910.64				502.07	407.99	139.85
0.15457	457.56	1856.50	1902.05				496.52	404.03	138.90
0.156181	454.02	1851.74	1892.78				490.92	400.02	137.93
0.157809	450.35	1846.20	1882.86				485.26	395.95	136.91
0.159454	446.53	1839.87	1872.27				479.53	391.81	135.87
0.161116	442.56	1832.75	1861.02				473.75	387.62	134.79
0.162795	438.44	1824.80	1849.10				467.91	383.37	133.67
0.164492	434.17	1816.02	1836.50				462.00	379.06	132.51
0.166206	429.74	1806.38	1823.21				456.04	374.68	131.31
0.167938	425.14	1795.85	1809.21				450.01	370.24	130.08
0.169689	420.37	1784.41	1794.50				443.91	365.73	128.80
0.171457	415.42	1772.02	1779.04				437.76	361.16	127.47
0.173244	410.27	1758.64	1762.83				431.53	356.51	126.10
0.17505	404.93	1744.23	1745.82				425.25	351.80	124.67
0.176874	399.36	1728.75	1727.98				418.89	347.02	123.19
0.178718	393.56	1712.14	1709.29				412.47	342.17	121.66
0.18058	387.50	1694.32	1689.70				405.98	337.24	120.05
0.182463	381.16	1675.24	1669.16				399.43	332.24	118.38
0.184364	374.48	1654.81	1647.62				392.80	327.16	116.63
0.186286	367.43	1632.92	1624.99				386.10	322.00	114.80
0.188227	359.93	1609.47	1601.21				379.34	316.76	112.86
0.190189	351.86	1584.30	1576.17				372.50	311.44	110.80
0.192171	343.04	1557.26	1549.76				365.58	306.03	108.60
0.194174	333.14	1528.12	1521.80				358.60	300.54	106.20
0.196198	329.49	1516.62	1503.03				352.58	295.62	104.51
0.198243	335.06	1528.23	1496.73				347.84	291.48	103.92
0.200309	340.07	1537.31	1489.01				343.06	287.29	103.25

Tabla 2. Espectros de Amplitudes de Fourier, Edificio Z

Ver tabla completa en anexos

6.- COCIENTES ESPECTRALES

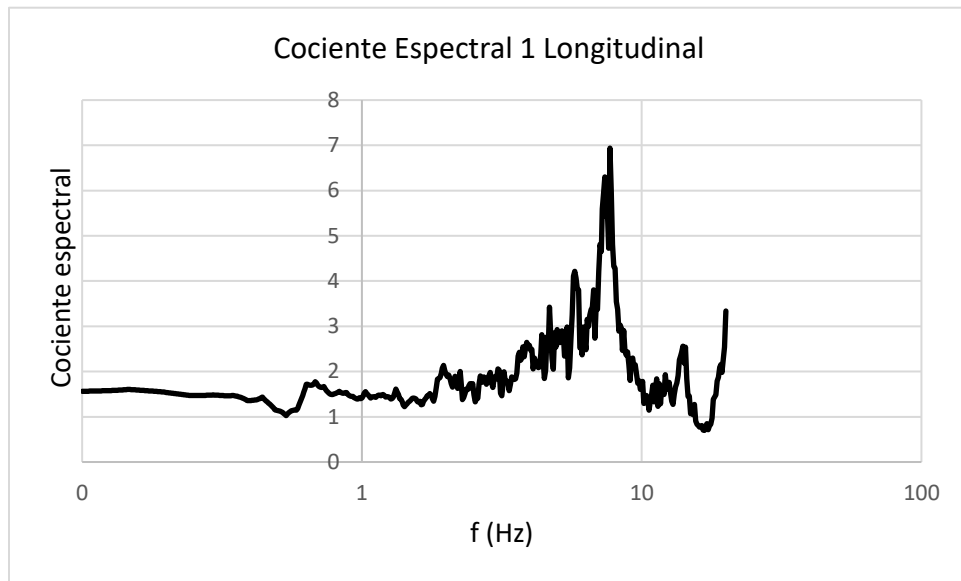
Edificio P

Edificio P	PO1- Centro Geométrico Azotea		P02-Esquina Suroeste Azotea		PO3- Centro Geométrico Planta Baja		Cociente Espec. 1	Cociente Espec. 2	Cociente Espec. 3	Cociente Espec. 4
f(Hz)	EAF-P01 CH2	EAF-P01 CH3	EAF-P02 CH2	EAF-P02 CH3	EAF-P03 CH2	EAF-P03 CH3	Longitud.	Transver.	Torción CH2	Torción CH3
0.1000	490.59	259.59	516.73	507.05	313.75	158.82	1.5636	1.6345	1.0533	1.9533
0.1010	486.50	257.55	512.43	503.08	311.04	157.51	1.5641	1.6351	1.0533	1.9534
0.1021	482.36	255.49	508.08	499.07	308.30	156.19	1.5646	1.6357	1.0533	1.9534
0.1032	478.18	253.40	503.67	494.99	305.53	154.85	1.5651	1.6364	1.0533	1.9534
0.1042	473.95	251.29	499.20	490.87	302.73	153.50	1.5656	1.6371	1.0533	1.9534
0.1053	469.67	249.16	494.68	486.68	299.90	152.13	1.5661	1.6378	1.0532	1.9533
0.1064	465.36	247.01	490.09	482.44	297.04	150.75	1.5667	1.6386	1.0532	1.9531
0.1075	460.99	244.84	485.45	478.14	294.14	149.35	1.5672	1.6393	1.0531	1.9529
0.1086	456.58	242.64	480.74	473.77	291.22	147.93	1.5678	1.6402	1.0529	1.9526
0.1098	452.12	240.42	475.97	469.35	288.26	146.50	1.5684	1.6410	1.0528	1.9522
0.1109	447.61	238.17	471.14	464.86	285.27	145.05	1.5691	1.6419	1.0526	1.9518
0.1121	443.06	235.90	466.24	460.30	282.25	143.59	1.5697	1.6429	1.0523	1.9513
0.1132	438.46	233.61	461.27	455.68	279.19	142.11	1.5704	1.6439	1.0520	1.9506
0.1144	433.80	231.29	456.23	450.99	276.11	140.61	1.5712	1.6449	1.0517	1.9499
0.1156	429.10	228.94	451.11	446.23	272.98	139.09	1.5719	1.6460	1.0513	1.9491
0.1168	424.35	226.57	445.93	441.39	269.82	137.55	1.5727	1.6472	1.0509	1.9481
0.1180	419.54	224.18	440.66	436.47	266.63	136.00	1.5735	1.6484	1.0503	1.9470
0.1193	414.69	221.76	435.32	431.48	263.40	134.42	1.5743	1.6497	1.0498	1.9457
0.1205	409.78	219.31	429.90	426.41	260.14	132.83	1.5752	1.6511	1.0491	1.9443
0.1218	404.81	216.84	424.38	421.25	256.84	131.22	1.5762	1.6525	1.0483	1.9427
0.1230	399.80	214.34	418.79	416.01	253.50	129.59	1.5771	1.6540	1.0475	1.9409
0.1243	394.73	211.82	413.09	410.67	250.12	127.94	1.5781	1.6556	1.0465	1.9388
0.1256	389.60	209.26	407.30	405.24	246.71	126.27	1.5792	1.6573	1.0454	1.9365
0.1269	384.42	206.68	401.41	399.71	243.25	124.57	1.5803	1.6591	1.0442	1.9339
0.1283	379.18	204.07	395.41	394.07	239.76	122.86	1.5815	1.6611	1.0428	1.9310
0.1296	373.88	201.43	389.29	388.32	236.23	121.12	1.5827	1.6631	1.0412	1.9278
0.1309	368.53	198.76	383.04	382.46	232.65	119.36	1.5840	1.6653	1.0394	1.9242
0.1323	363.11	196.07	376.67	376.46	229.03	117.57	1.5854	1.6676	1.0373	1.9201
0.1337	357.64	193.34	370.14	370.34	225.37	115.77	1.5869	1.6701	1.0350	1.9155
0.1351	352.10	190.59	363.45	364.07	221.67	113.93	1.5884	1.6728	1.0322	1.9103
0.1365	346.50	187.80	356.58	357.65	217.92	112.07	1.5900	1.6757	1.0291	1.9044
0.1379	340.84	184.98	349.49	351.05	214.13	110.19	1.5918	1.6788	1.0254	1.8978
0.1393	335.12	182.13	342.16	344.26	210.29	108.28	1.5936	1.6821	1.0210	1.8902
0.1408	329.33	179.25	334.52	337.27	206.40	106.33	1.5956	1.6858	1.0158	1.8815

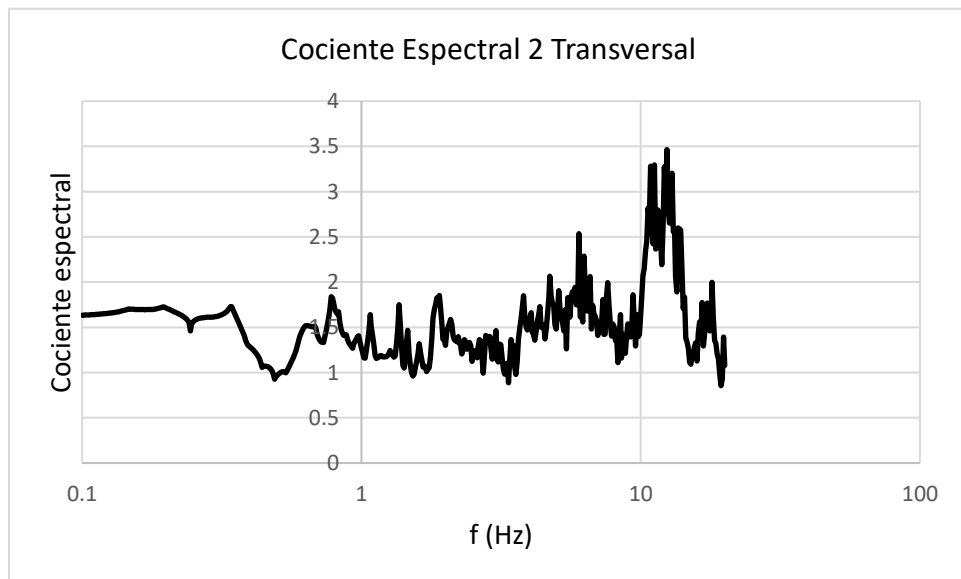
0.1423	323.47	176.34	326.49	330.03	202.47	104.36	1.5977	1.6897	1.0093	1.8716
0.1437	317.55	173.39	317.93	322.51	198.48	102.36	1.5999	1.6940	1.0012	1.8600
0.1452	311.55	170.41	308.54	314.65	194.44	100.32	1.6023	1.6987	0.9903	1.8464
0.1468	306.03	167.63	299.81	307.67	190.79	98.45	1.6041	1.7027	0.9797	1.8354
0.1483	302.91	165.85	299.54	306.16	189.05	97.45	1.6023	1.7018	0.9889	1.8460
0.1498	299.75	164.04	298.84	304.57	187.29	96.44	1.6005	1.7009	0.9970	1.8566
0.1514	296.56	162.22	297.84	302.89	185.50	95.42	1.5987	1.7001	1.0043	1.8672
0.1530	293.33	160.38	296.58	301.14	183.69	94.38	1.5968	1.6993	1.0111	1.8777
0.1546	290.07	158.51	295.13	299.30	181.86	93.32	1.5950	1.6985	1.0175	1.8882
0.1562	286.77	156.62	293.50	297.39	180.01	92.25	1.5931	1.6979	1.0235	1.8987
0.1578	283.43	154.71	291.72	295.40	178.13	91.16	1.5912	1.6972	1.0292	1.9093
0.1595	280.06	152.78	289.80	293.32	176.22	90.05	1.5893	1.6967	1.0348	1.9199
0.1611	276.65	150.83	287.76	291.17	174.29	88.92	1.5873	1.6962	1.0402	1.9305
0.1628	273.20	148.85	285.60	288.94	172.33	87.78	1.5853	1.6958	1.0454	1.9412
0.1645	269.72	146.85	283.33	286.64	170.35	86.61	1.5833	1.6955	1.0505	1.9519
0.1662	266.19	144.82	280.96	284.25	168.34	85.42	1.5813	1.6953	1.0555	1.9627
0.1679	262.63	142.77	278.49	281.77	166.30	84.22	1.5793	1.6952	1.0604	1.9736
0.1697	259.03	140.70	275.93	279.22	164.23	82.99	1.5772	1.6953	1.0652	1.9846
0.1715	255.38	138.59	273.27	276.58	162.13	81.74	1.5752	1.6955	1.0700	1.9956
0.1732	251.70	136.47	270.51	273.86	160.00	80.47	1.5731	1.6959	1.0748	2.0068
0.1751	247.97	134.31	267.67	271.04	157.85	79.17	1.5710	1.6965	1.0794	2.0180
0.1769	244.20	132.13	264.74	268.14	155.66	77.84	1.5688	1.6973	1.0841	2.0294
0.1787	240.39	129.91	261.72	265.14	153.44	76.49	1.5667	1.6984	1.0887	2.0409
0.1806	236.54	127.67	258.61	262.04	151.19	75.11	1.5646	1.6997	1.0933	2.0525
0.1825	232.64	125.40	255.41	258.84	148.90	73.70	1.5624	1.7015	1.0979	2.0642
0.1844	228.69	123.10	252.13	255.54	146.58	72.26	1.5602	1.7036	1.1025	2.0760
0.1863	224.70	120.76	248.75	252.13	144.22	70.77	1.5580	1.7063	1.1070	2.0879
0.1882	220.66	118.39	245.28	248.60	141.82	69.25	1.5559	1.7095	1.1116	2.0999
0.1902	216.57	115.98	241.72	244.95	139.39	67.68	1.5537	1.7136	1.1161	2.1121
0.1922	212.44	113.53	238.07	241.17	136.92	66.06	1.5515	1.7187	1.1206	2.1242
0.1942	208.25	111.05	234.31	237.26	134.41	64.37	1.5494	1.7251	1.1252	2.1365
0.1962	204.81	109.00	230.83	233.56	132.47	63.14	1.5461	1.7263	1.1270	2.1427
0.1982	202.36	107.55	227.75	230.25	131.27	62.55	1.5416	1.7193	1.1255	2.1409
0.2003	199.88	106.08	224.62	226.88	130.03	61.95	1.5372	1.7124	1.1238	2.1388

Tabla 3. Cocientes Espectrales, Edificio P

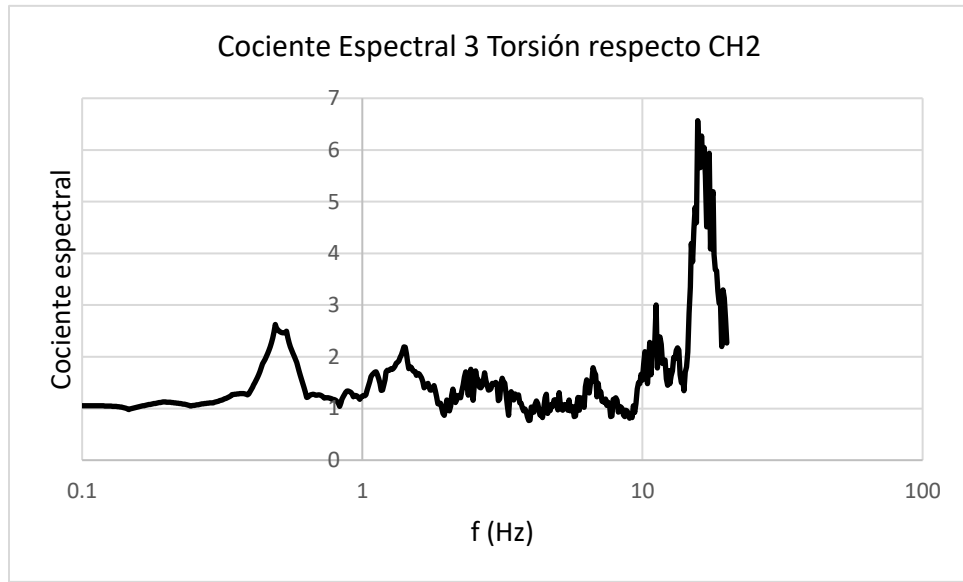
Grafica de los cocientes espectrales de edificio P



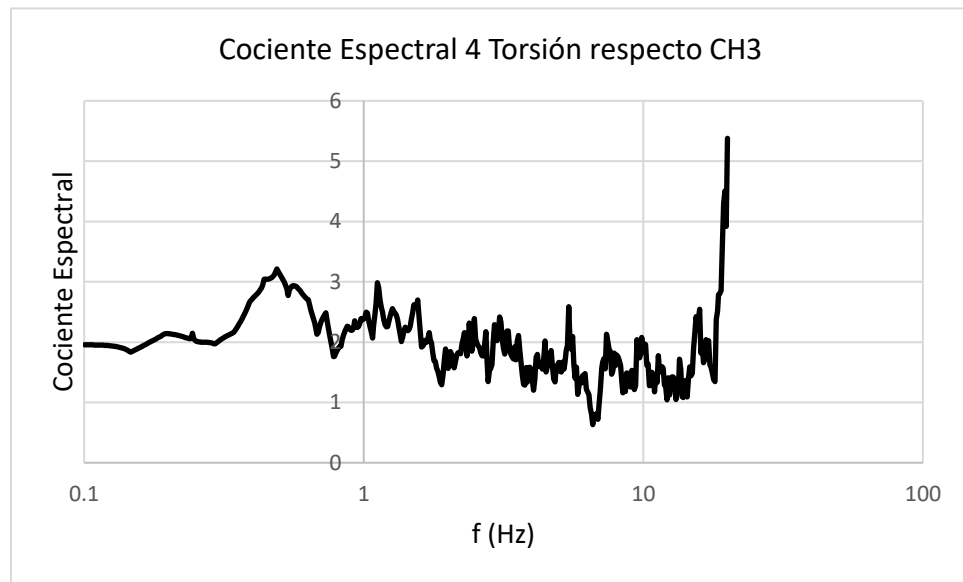
Gráfica 1. Cociente Espectral 1, Longitudinal



Gráfica 2. Cociente Espectral 2, Transversal



Gráfica 3. Cociente Espectral 3, Torsión respecto CH2



Gráfica 4. Cociente Espectral 4, Torsión respecto CH3

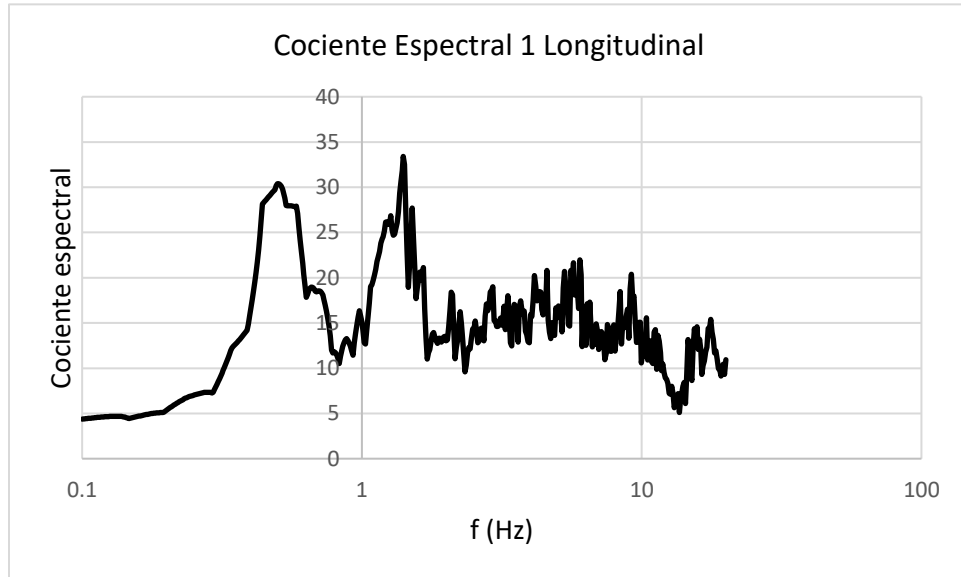
Edificio Z

Edificio P	PO1- Centro Geométrico Azotea		P02-Esquina Suroeste Azotea		PO3- Centro Geométrico Planta Baja		Cociente Espec. 1	Cociente Espec. 2	Cociente Espec. 3	Cociente Espec. 4
f(Hz)	EAf-P01 CH2	EAf-P01 CH3	EAf-P02 CH2	EAf-P02 CH3	EAf-P03 CH2	EAf-P03 CH3	Longitud.	Transver.	Torción CH2	Torción CH3
0.100000	2827.85	2823.86			647.45	243.34	4.3676	11.6048		
0.101042	2817.89	2809.67			642.65	241.52	4.3848	11.6334		
0.102084	2807.36	2795.13			637.79	239.66	4.4017	11.6628		
0.103159	2796.24	2780.23			632.87	237.77	4.4184	11.6928		
0.104235	2784.55	2764.97			627.89	235.84	4.4348	11.7237		
0.105321	2772.26	2749.33			622.85	233.88	4.4509	11.7554		
0.106419	2759.38	2733.32			617.75	231.88	4.4668	11.7879		
0.107528	2745.89	2716.91			612.59	229.83	4.4824	11.8213		
0.108649	2731.78	2700.09			607.37	227.75	4.4977	11.8556		
0.109781	2717.04	2682.87			602.08	225.63	4.5127	11.8908		
0.110925	2701.66	2665.22			596.73	223.46	4.5274	11.9271		
0.112081	2685.62	2647.14			591.31	221.25	4.5418	11.9644		
0.113249	2668.91	2628.61			585.83	219.00	4.5558	12.0028		
0.114430	2651.50	2609.62			580.28	216.70	4.5694	12.0424		
0.115622	2633.39	2590.15			574.65	214.36	4.5826	12.0832		
0.116827	2614.54	2570.19			568.96	211.97	4.5953	12.1253		
0.118045	2594.93	2549.73			563.20	209.53	4.6075	12.1687		
0.119275	2574.54	2528.73			557.36	207.04	4.6191	12.2135		
0.120519	2553.34	2507.20			551.45	204.50	4.6302	12.2599		
0.121775	2531.28	2485.09			545.47	201.91	4.6406	12.3078		
0.123044	2508.34	2462.39			539.40	199.26	4.6502	12.3575		
0.124326	2484.46	2439.08			533.26	196.56	4.6590	12.4089		
0.125622	2459.60	2415.12			527.04	193.80	4.6668	12.4622		
0.126931	2433.70	2390.48			520.74	190.97	4.6736	12.5175		
0.128254	2406.70	2365.12			514.35	188.08	4.6791	12.5749		
0.129591	2378.51	2339.00			507.87	185.13	4.6833	12.6345		
0.130942	2349.05	2312.08			501.31	182.10	4.6858	12.6966		
0.132306	2318.21	2284.29			494.66	179.00	4.6865	12.7611		
0.133685	2285.84	2255.57			487.91	175.83	4.6849	12.8283		
0.135079	2251.79	2225.84			481.07	172.57	4.6808	12.8982		
0.136487	2215.82	2195.01			474.14	169.23	4.6734	12.9710		
0.137909	2177.66	2162.94			467.10	165.79	4.6621	13.0466		
0.139346	2136.92	2129.49			459.95	162.25	4.6460	13.1250		

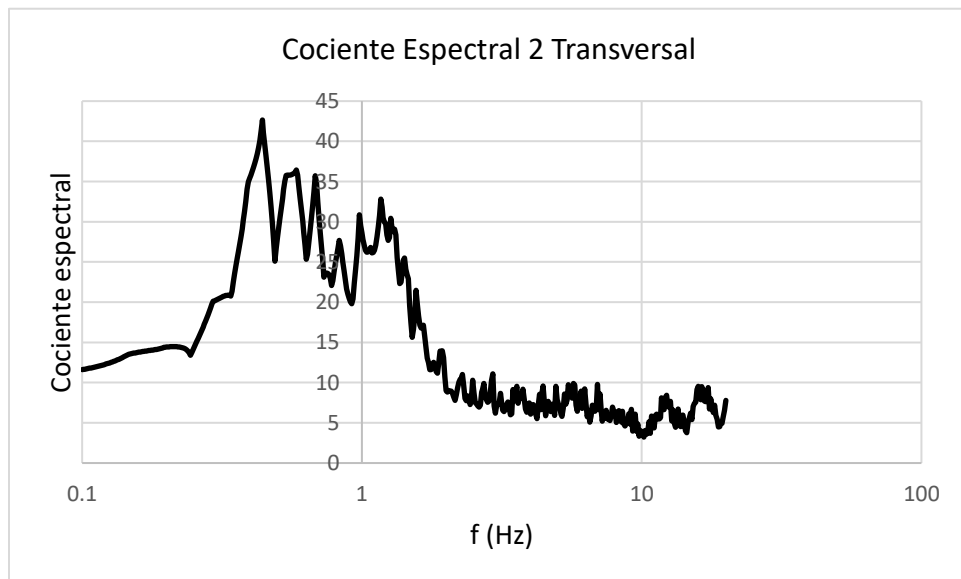
0.140799	2093.02	2094.45			452.70	158.60	4.6234	13.2059		
0.142266	2045.10	2057.54			445.34	154.83	4.5923	13.2887		
0.143749	1991.70	2018.36			437.85	150.94	4.5488	13.3722		
0.145247	1930.02	1976.32			430.24	146.89	4.4859	13.4541		
0.146761	1868.94	1938.16			423.25	143.32	4.4157	13.5235		
0.148291	1867.96	1932.34			419.52	142.50	4.4526	13.5606		
0.149836	1866.22	1925.80			415.73	141.65	4.4890	13.5960		
0.151398	1863.74	1918.57			411.89	140.76	4.5249	13.6298		
0.152976	1860.50	1910.64			407.99	139.85	4.5602	13.6622		
0.154570	1856.50	1902.05			404.03	138.90	4.5949	13.6933		
0.156181	1851.74	1892.78			400.02	137.93	4.6292	13.7233		
0.157809	1846.20	1882.86			395.95	136.91	4.6628	13.7521		
0.159454	1839.87	1872.27			391.81	135.87	4.6958	13.7802		
0.161116	1832.75	1861.02			387.62	134.79	4.7282	13.8072		
0.162795	1824.80	1849.10			383.37	133.67	4.7599	13.8336		
0.164492	1816.02	1836.50			379.06	132.51	4.7909	13.8593		
0.166206	1806.38	1823.21			374.68	131.31	4.8212	13.8844		
0.167938	1795.85	1809.21			370.24	130.08	4.8506	13.9088		
0.169689	1784.41	1794.50			365.73	128.80	4.8790	13.9328		
0.171457	1772.02	1779.04			361.16	127.47	4.9065	13.9564		
0.173244	1758.64	1762.83			356.51	126.10	4.9329	13.9800		
0.175050	1744.23	1745.82			351.80	124.67	4.9580	14.0033		
0.176874	1728.75	1727.98			347.02	123.19	4.9817	14.0266		
0.178718	1712.14	1709.29			342.17	121.66	5.0038	14.0503		
0.180580	1694.32	1689.70			337.24	120.05	5.0241	14.0745		
0.182463	1675.24	1669.16			332.24	118.38	5.0423	14.0997		
0.184364	1654.81	1647.62			327.16	116.63	5.0581	14.1264		
0.186286	1632.92	1624.99			322.00	114.80	5.0712	14.1552		
0.188227	1609.47	1601.21			316.76	112.86	5.0810	14.1876		
0.190189	1584.30	1576.17			311.44	110.80	5.0870	14.2251		
0.192171	1557.26	1549.76			306.03	108.60	5.0885	14.2706		
0.194174	1528.12	1521.80			300.54	106.20	5.0846	14.3290		
0.196198	1516.62	1503.03			295.62	104.51	5.1304	14.3814		
0.198243	1528.23	1496.73			291.48	103.92	5.2429	14.4031		
0.200309	1537.31	1489.01			287.29	103.25	5.3510	14.4217		

Tabla 4. Cocientes Espectrales, Edificio Z

GRAFICA DE LOS COCIENTES ESPECTRALES DE EDIFICIO Z



Gráfica 5. Cociente Espectral 1, Longitudinal



Gráfica 6. Cociente Espectral 2, Transversal

7.- RESULTADOS OBTENIDOS

EDIFICIO P

Edificio P		
Cocientes Espectrales	Frecuencia Hz	Periodo s
Longitudinal	7.7	0.1297
Transversal	12.41	0.081
Torción respecto a CH2	15.75	0.063
Torción respecto a CH3	20	0.05

Capacidad de deformación equivalente

$$U_{NF} = \frac{QTn^2cg}{4\pi^2}$$

Tn = periodo fundamental de vibrar

Q = Factor de comportamiento sísmico

C = coeficiente de diseño sísmico

g = gravedad

$$U_{NF} = \frac{2(0.13)^2(0.45)(980)}{4\pi^2} = 0.377 \text{ cm}$$

$$U_{NF} = \frac{2(0.08)^2(0.45)(980)}{4\pi^2} = 0.1465 \text{ cm}$$

$$U_{NF} = \frac{2(0.06)^2(0.45)(980)}{4\pi^2} = 0.088 \text{ cm}$$

$$U_{NF} = \frac{2(0.05)^2(0.45)(980)}{4\pi^2} = 0.055 \text{ cm}$$

EDIFICIO Z

Edificio Z		
Cocientes Espectrales	Frecuencia Hz	Periodo s
Longitudinal	0.51	1.96
Transversal	0.44	2.27
Torción respecto a CH2		
Torción respecto a CH3		

Capacidad de deformación equivalente

$$U_{NF} = \frac{QTn^2cg}{4\pi^2}$$

Tn = periodo fundamental de vibrar

Q = Factor de comportamiento sísmico

C = coeficiente de diseño sísmico

g = gravedad

$$U_{NF} = \frac{2(1.96)^2(0.45)(980)}{4\pi^2} = 85.82 \text{ cm}$$

$$U_{NF} = \frac{2(2.27)^2(0.45)(980)}{4\pi^2} = 115.12 \text{ cm}$$

8.-ANALISIS SISMICO

Para este proceso, utilizaremos varias herramientas, tales como SAP2000, Degtra, un archivo estándar de aceleración, Excel.

DATOS DEL ARCHIVO DE ACELERACIÓN

En este caso, utilizamos el registro sísmico del sismo del 19 de septiembre del 2017 con una magnitud de 7.1 en escala de Richter, ya que un edificio estudiado, en dicho evento, presentó daños visuales en la fachada.

El acelerógrafo que generó el registro, fue un GSR-12 con número de serie 328, fue la estación de San Alejandro, Puebla, con clave **SAPP**, ubicada en JARDIN DEL HOSPITAL SAN ALEJANDRO DEL IMSS, PUEBLA, con coordenadas 19.057785 LAT. N y 98.215377 LONG. W. L, con una altitud de 2139 msnm, la institución responsable de la estación es la Benemérita Universidad Autónoma De Puebla, Facultad De Ingeniería Civil Y Tecnológica.

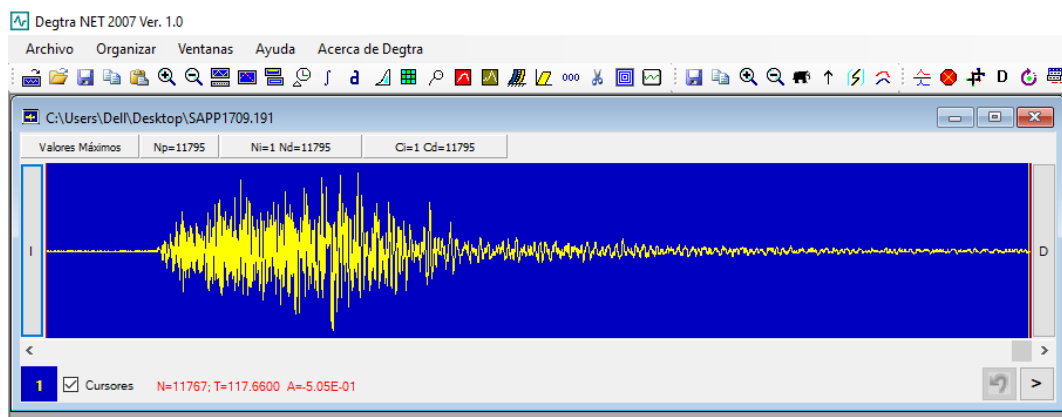


Imagen 42. Datos de Aceleración, Canal-1 V

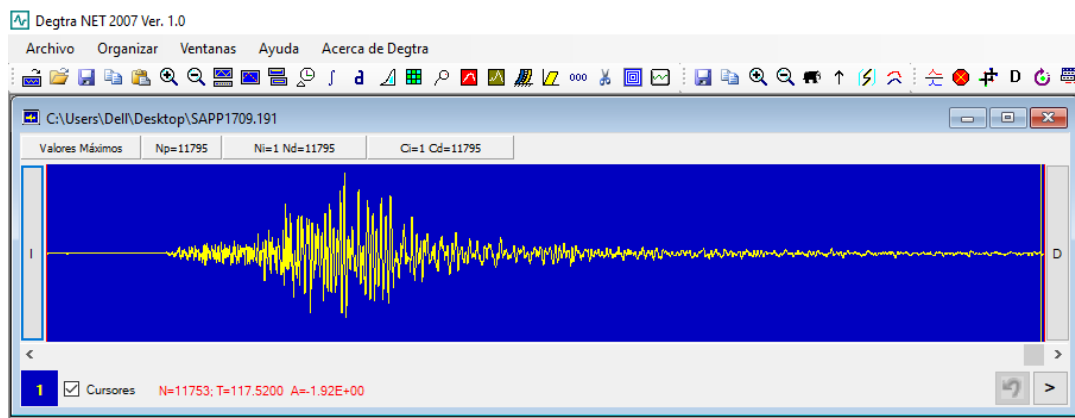


Imagen 41. Datos de Aceleración, Canal-2 N90E

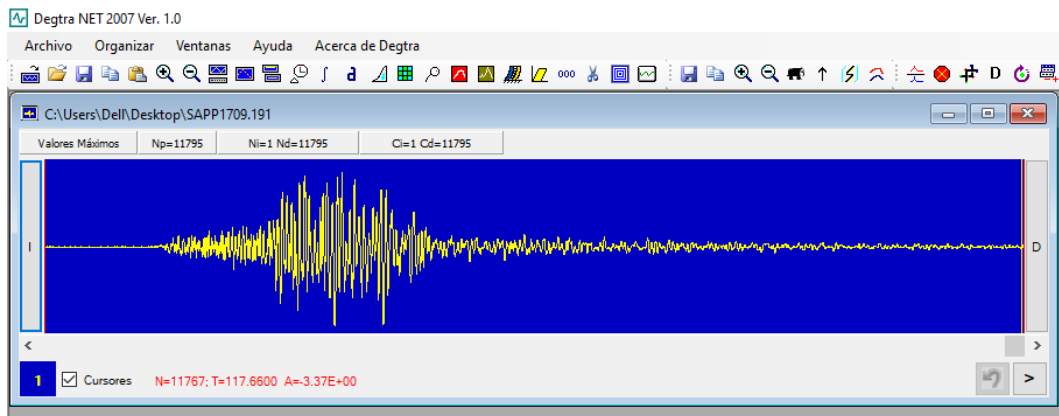


Imagen 43. Datos de Aceleración, Canal-3 N00E

ESPECTROS ELÁSTICOS DE ACELERACIÓN Y DESPLAZAMIENTO

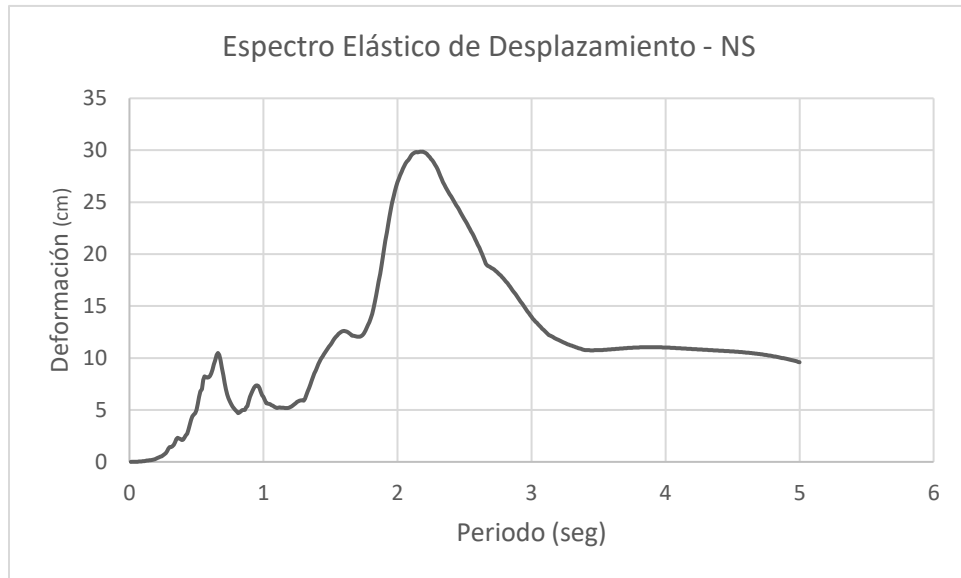
Utilizando los datos sísmicos del sismo ya mencionado, mediante el software Degtra NET 2007, obtendremos sus espectros elásticos de aceleración y desplazamiento.

Los archivos generados por Degtra NET. tendrán una nomenclatura en específico, ESD por sus siglas en ingles Elastic Spectrum Displacement y ESA por Elastic Spectrum Aceleration.



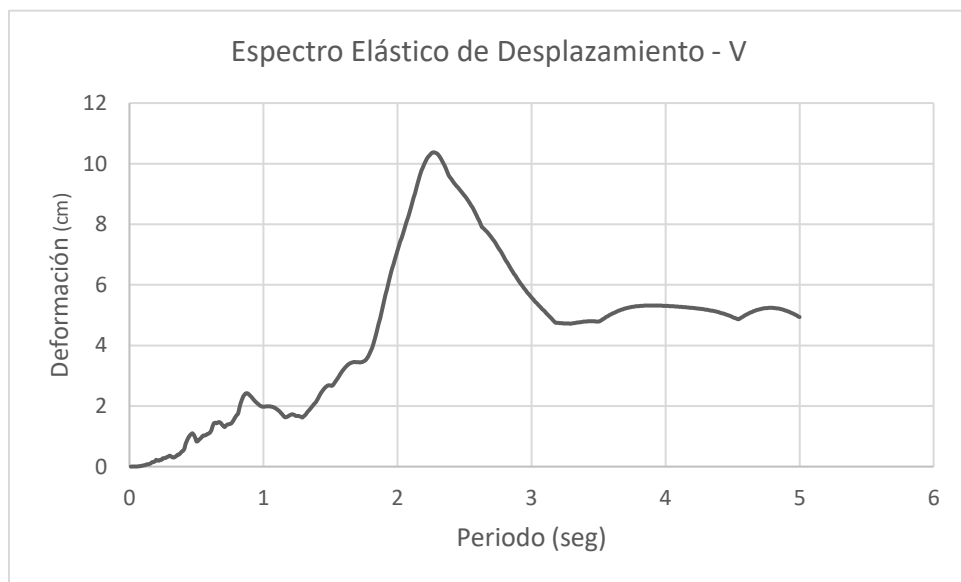
Gráfica 5. ESD-SAPP1709191-EW

En este espectro del sismo del 2017, en la componente horizontal EW, encontramos desplazamientos máximos de 12 a 14 cm en edificios desplantados cerca de esta estación que cuentan con un periodo cercano a 2 segundos.



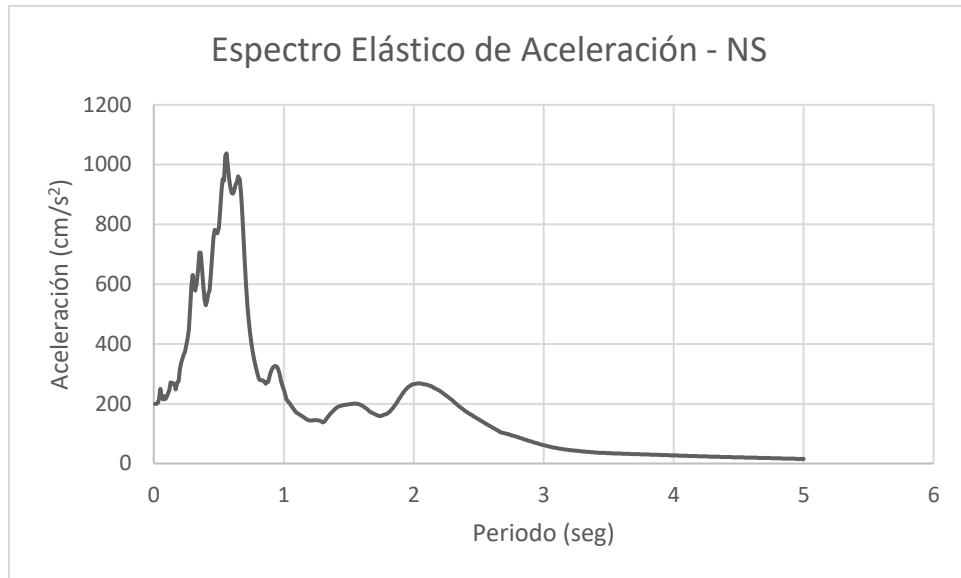
Gráfica 6. ESD-SAPP1709191-NS

En el mismo espectro, pero en la otra componente horizontal NS, encontramos desplazamientos máximos de hasta 30 cm en edificios desplantados cerca de esta estación que cuenten con un periodo cercano a 2 segundos.



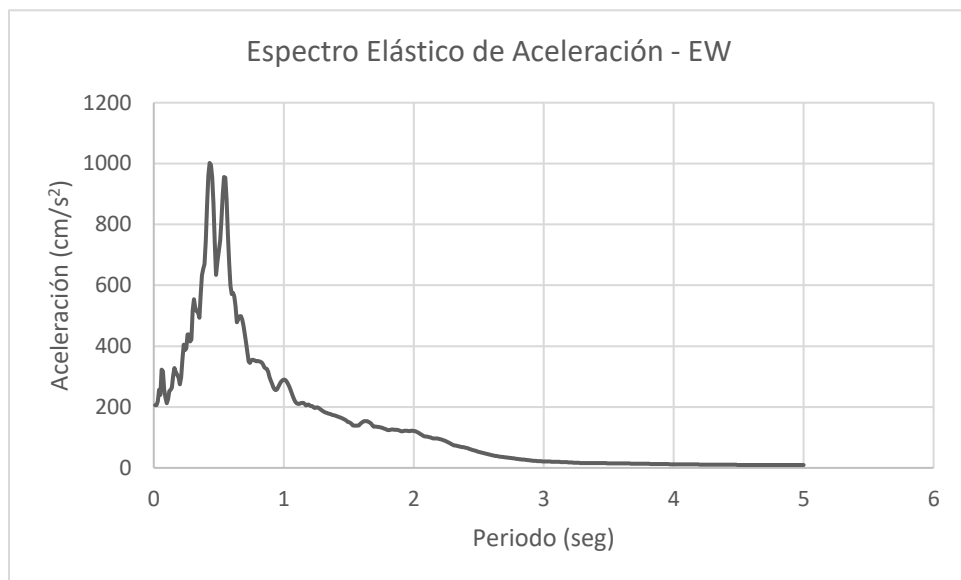
Gráfica 7. ESD-SAPP1709191-V

Ahora en la componente vertical, de la misma manera que las componentes horizontales, edificios con un periodo cercano a 2 segundos, encontramos la mayor deformación, ahora con desplazamientos de hasta 11 cm.



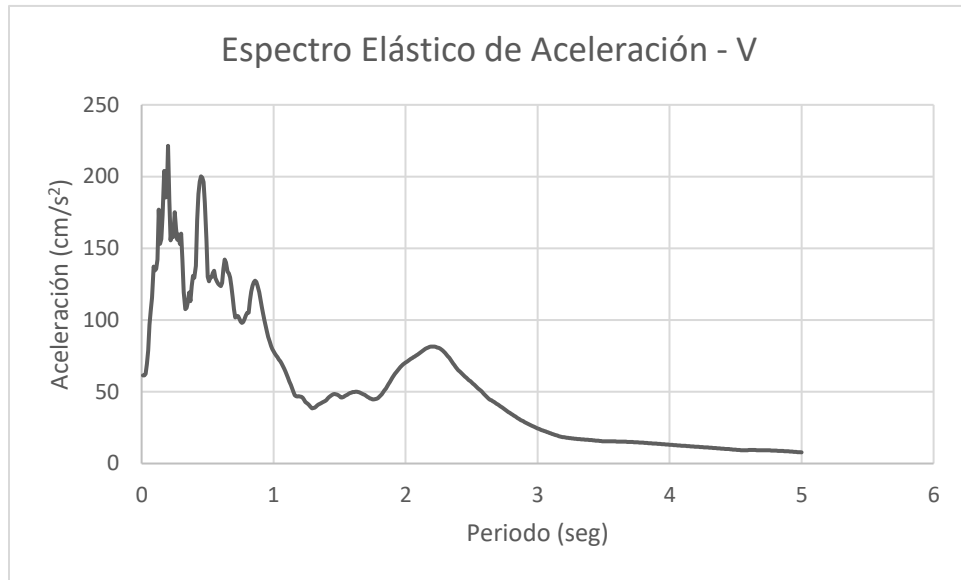
Gráfica 8. ESA-SAPP1709191-NS

Para las aceleraciones, en la componente NS, con el mismo registro sísmico encontramos una aceleración de hasta 1,000 cm/s² en edificios con periodo cercano a 0.55 segundos.



Gráfica 9. ESA-SAPP1709191-EW

En la otra componente horizontal EW, de la misma manera encontramos una aceleración de hasta 1,000 cm/s² en edificios con un periodo cercano a 0.44 segundos.



Gráfica 10. ESA-SAPP1709191-V

En edificios con periodo cercano a 0.2 segundos y 0.47, podrán tener aceleraciones de 230 cm/s^2 y 200 cm/s^2 respectivamente, esto en la componente vertical.

MODELO SAP2000

Con base a la información recopilada sobre los edificios elegidos a estudiar, se utilizaron los planos estructurales y datos técnicos para modelar en el software SAP2000.

Para las condiciones de carga, se utilizarán las NORMAS TÉCNICAS DE LA LEY DE CONSTRUCCIÓN DEL ESTADO DE TLAXCALA, para el uso de carga viva unitaria media (W) con un valor de 100 kg/m^2 , carga viva unitaria instantánea (W_a) con un valor de 180 kg/m^2 y carga viva unitaria máxima (W_m) con un valor de 250 kg/m^2 .

También se utilizará la función de Response Spectrum del software SAP2000, se utilizarán los espectros elásticos de pseudoaceleración para las direcciones X y Y, estos archivos fueron generados en el software Degtra NET.

Con las cargas vivas y las cargas sísmicas de los espectros de respuesta, se aplicarán las diferentes combinaciones de carga.

No. Comb	CM+CV	C.A.X	C.A.Y.
1	1.4	0	0
2	1.1	1.1	0
3	1.1	1.1	0.33
4	1.1	1.1	-0.33
5	1.1	-1.1	0
6	1.1	-1.1	0.33
7	1.1	-1.1	-0.33
8	1.1	0	1.1
9	1.1	0.33	1.1
10	1.1	-0.33	1.1
11	1.1	0	-1.1
12	1.1	0.33	-1.1
13	1.1	-0.33	-1.1

Tabla 5 Combinaciones de Carga

Listas las secciones, estados de carga, materiales, modelo calibrado, podemos correr el programa para conocer los resultados del análisis modal, combinación más crítica, las condiciones de los elementos mecánicos, desplazamientos, etc.

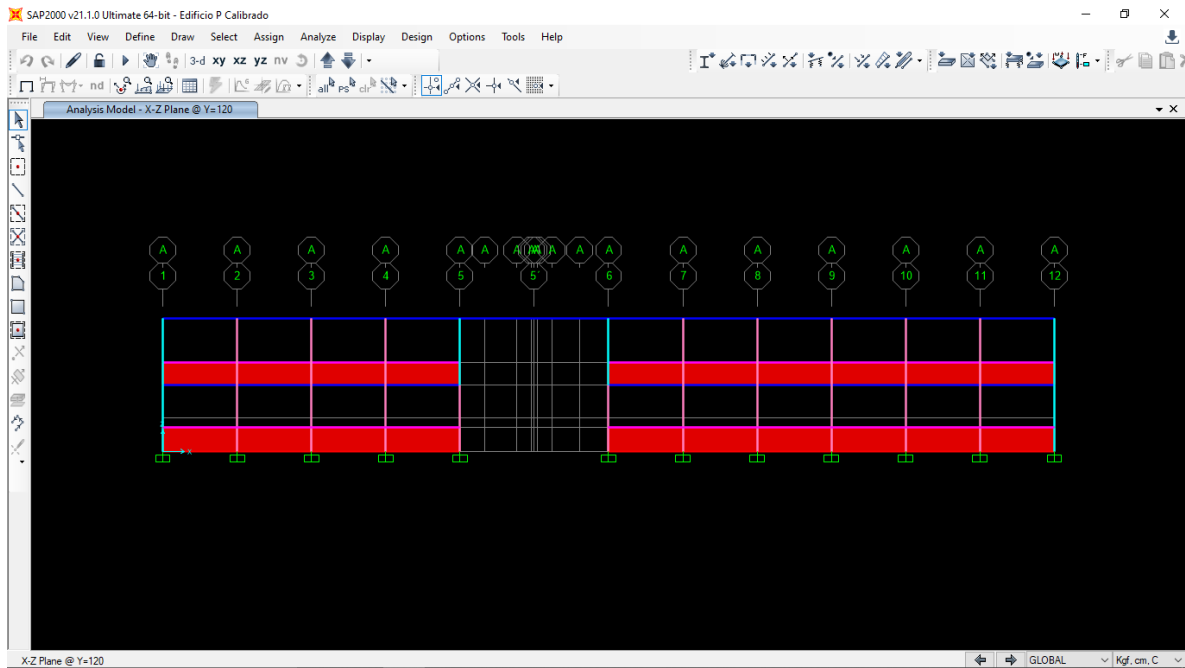


Imagen 45. Modelo SAPP2000, Edificio P, Plano XZ

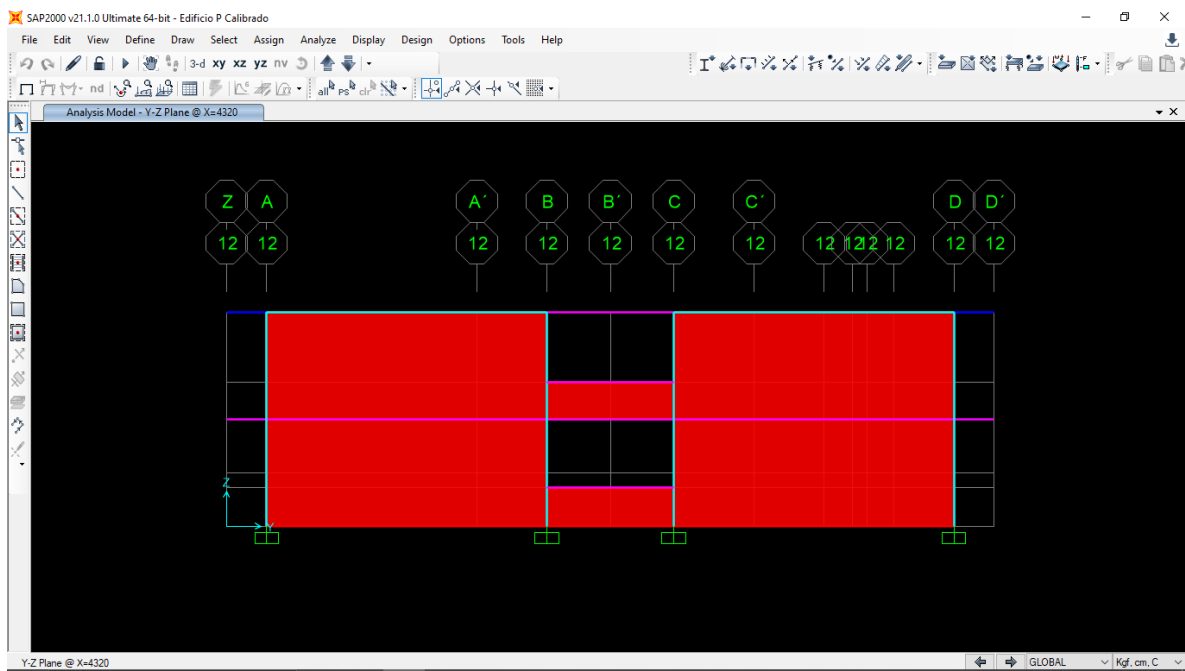


Imagen 44. Modelo SAPP2000, Edificio P, Plano YZ

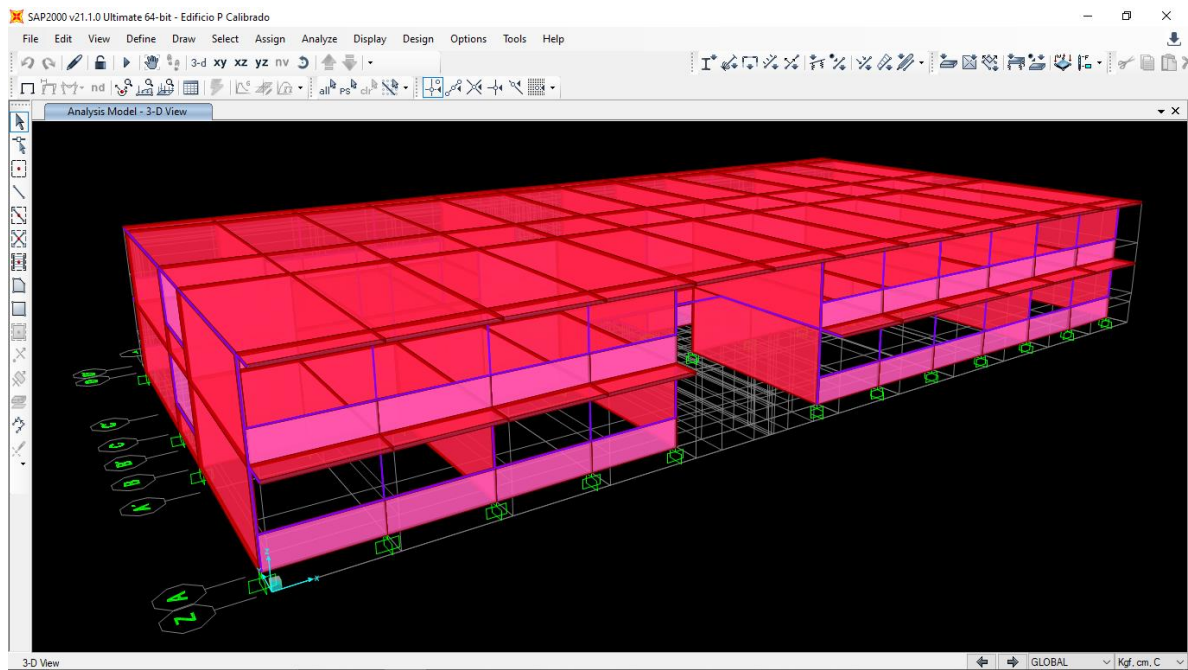


Imagen 46. Modelo SAPP2000, Edificio P, Plano 3D

RESULTADOS DE SAP2000

TABLA: Modal Periodos y Frecuencias				
Caso de Análisis	Modos	Num.	Periodo	Frecuencia
			Sec	Hz
MODAL	Mode	1	0.126462	7.907530
MODAL	Mode	2	0.123441	8.101023
MODAL	Mode	3	0.107427	9.308623
MODAL	Mode	4	0.106708	9.371371
MODAL	Mode	5	0.103610	9.651615
MODAL	Mode	6	0.100588	9.941563
MODAL	Mode	7	0.097531	10.253174
MODAL	Mode	8	0.097210	10.287017
MODAL	Mode	9	0.081396	12.285627
MODAL	Mode	10	0.075043	13.325747
MODAL	Mode	11	0.074501	13.422621
MODAL	Mode	12	0.066653	15.003093

A continuación, se presentan imágenes de los diferentes modos.

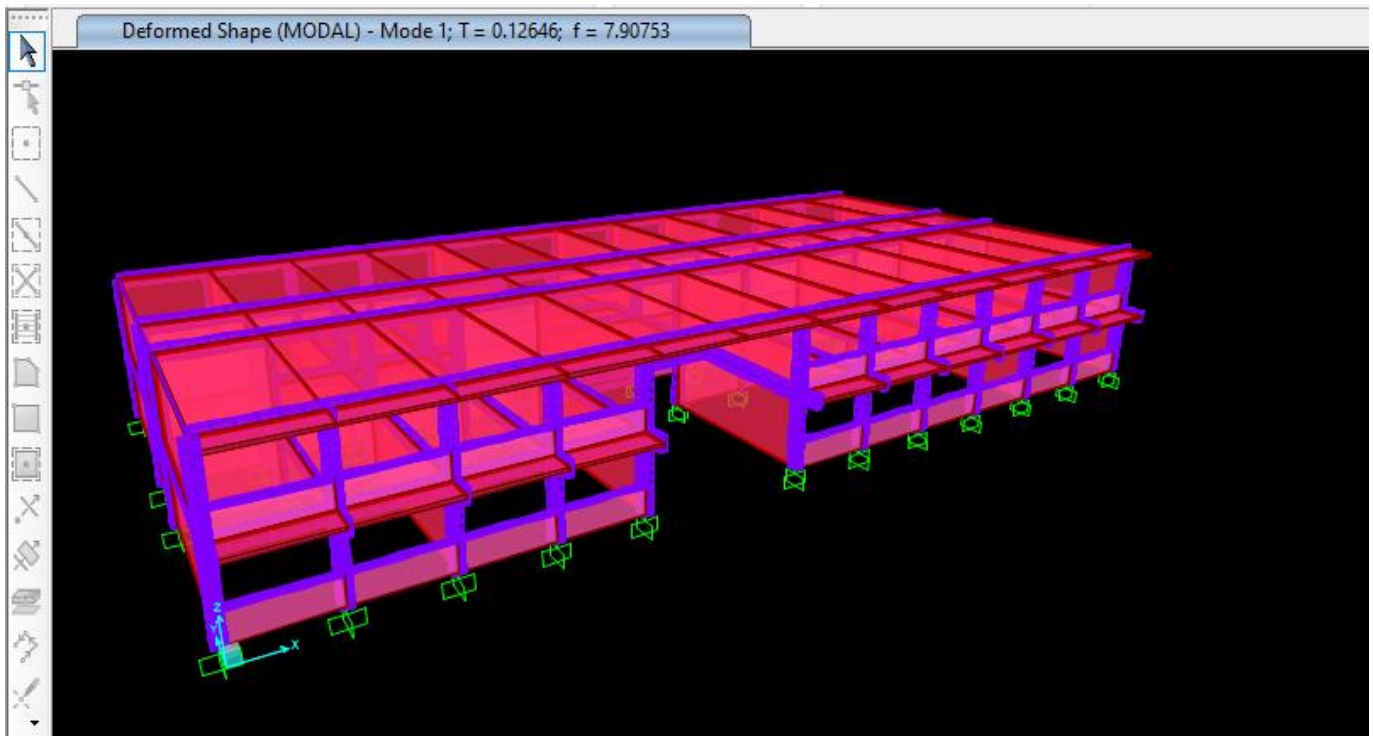


Imagen 47. Modo 1 de vibrar T = 0.1264

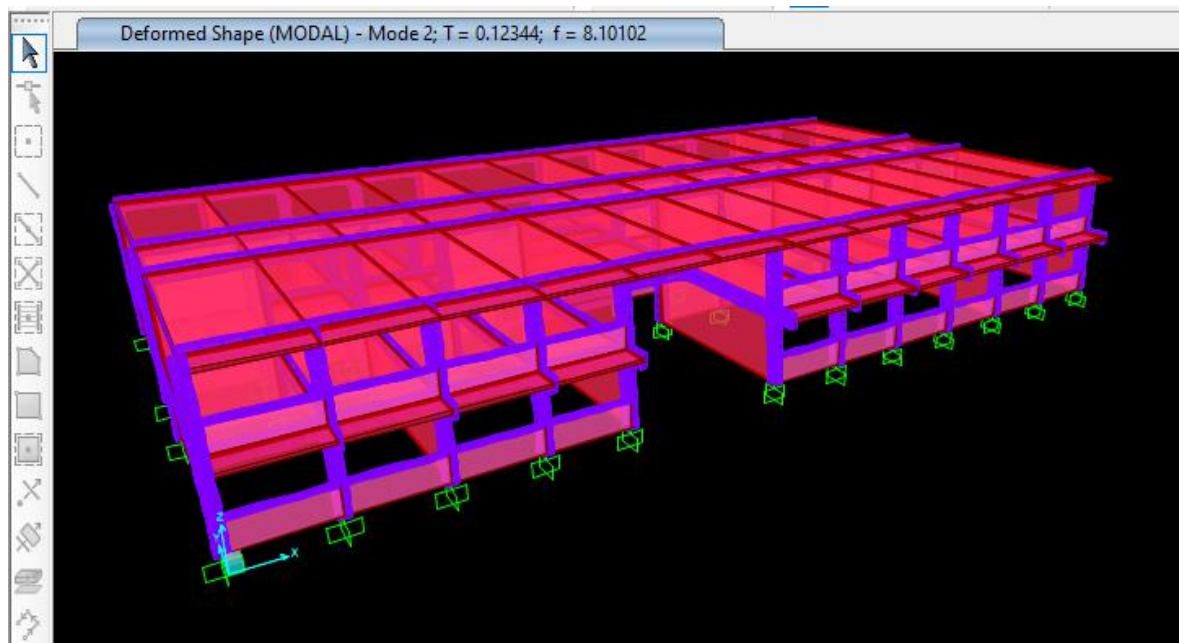


Imagen 49. Modo 2 de vibrar T = 0.1234

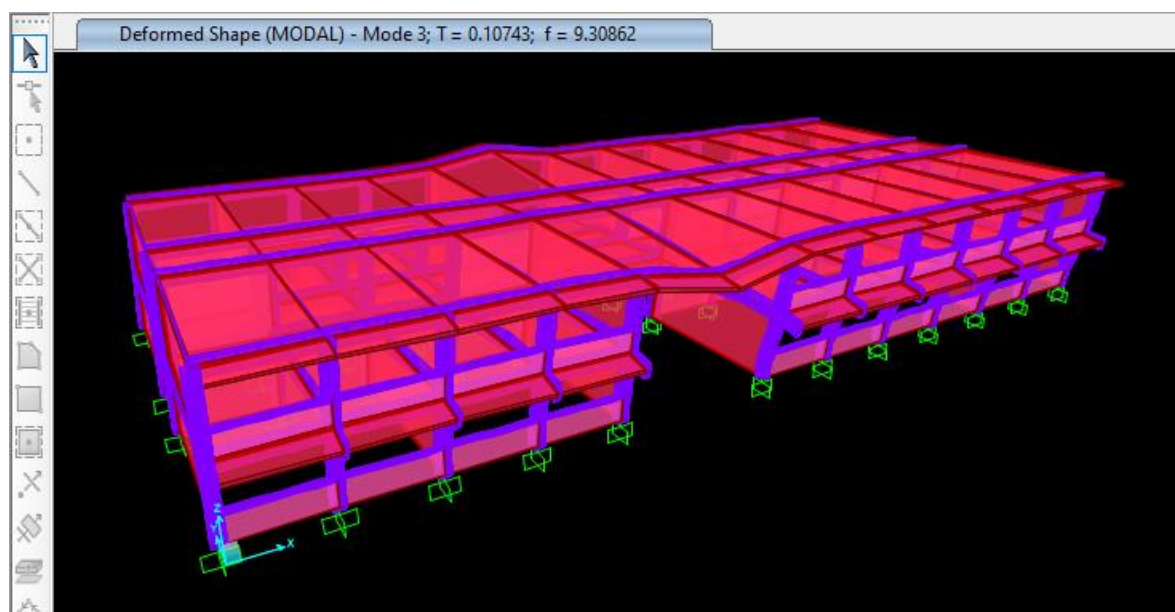


Imagen 48. Modo 3 de vibrar T = 0.1074

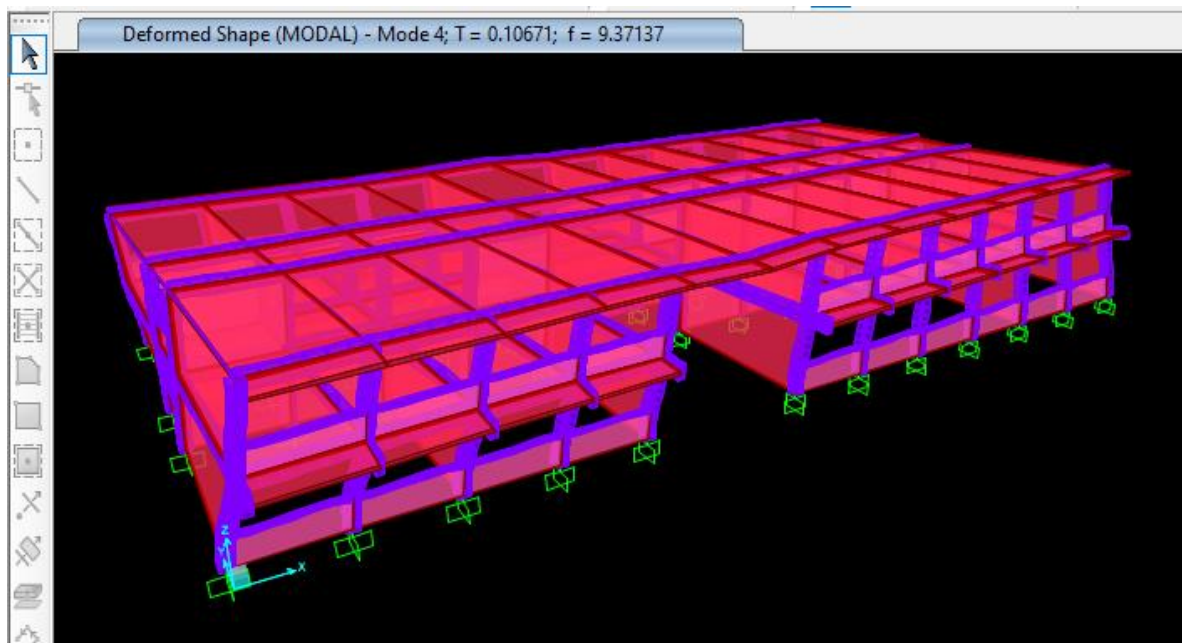


Imagen 50. Modo 4 de vibrar T = 0.1067

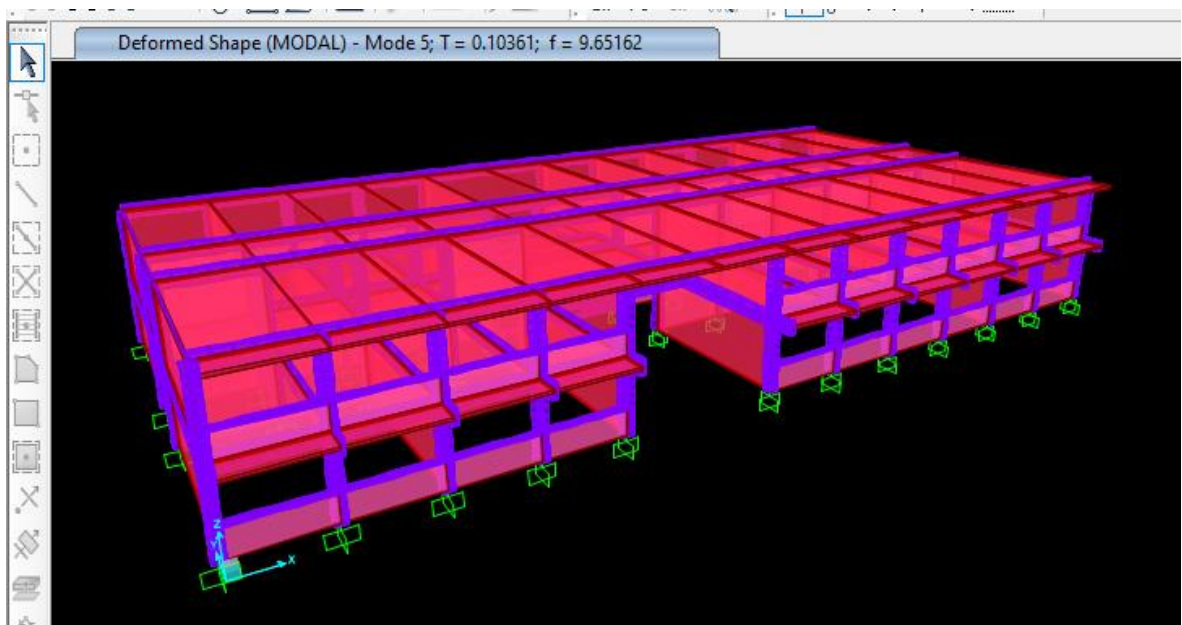


Imagen 51. Modo 5 de vibrar T = 0.1036

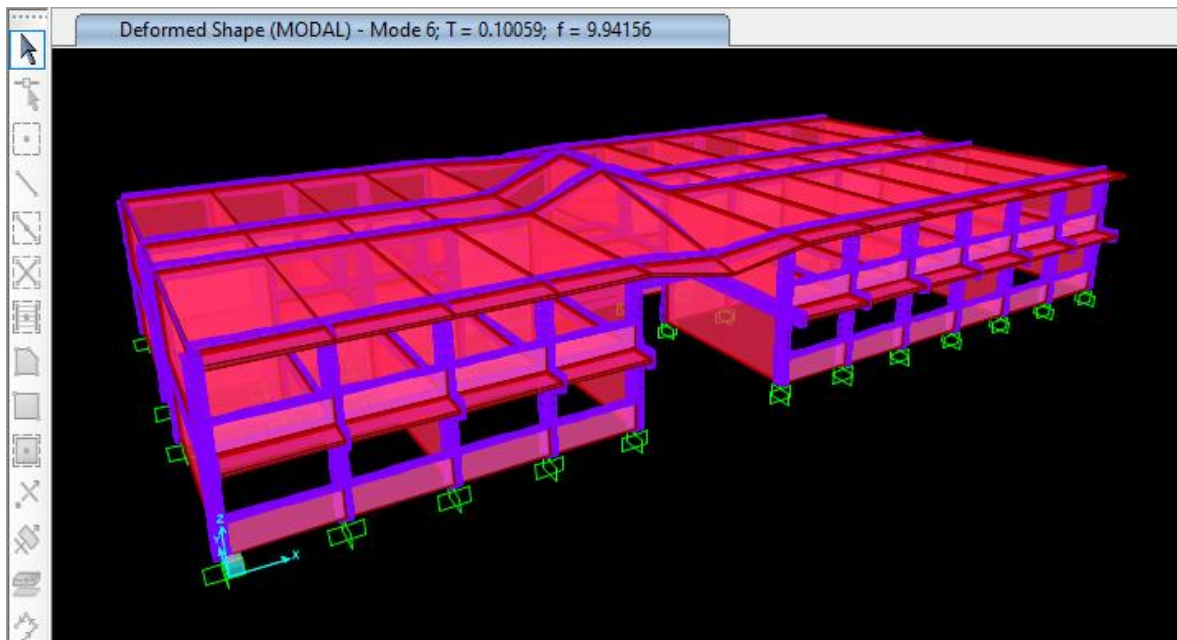


Imagen 53. Modo 6 de vibrar T = 0.1005

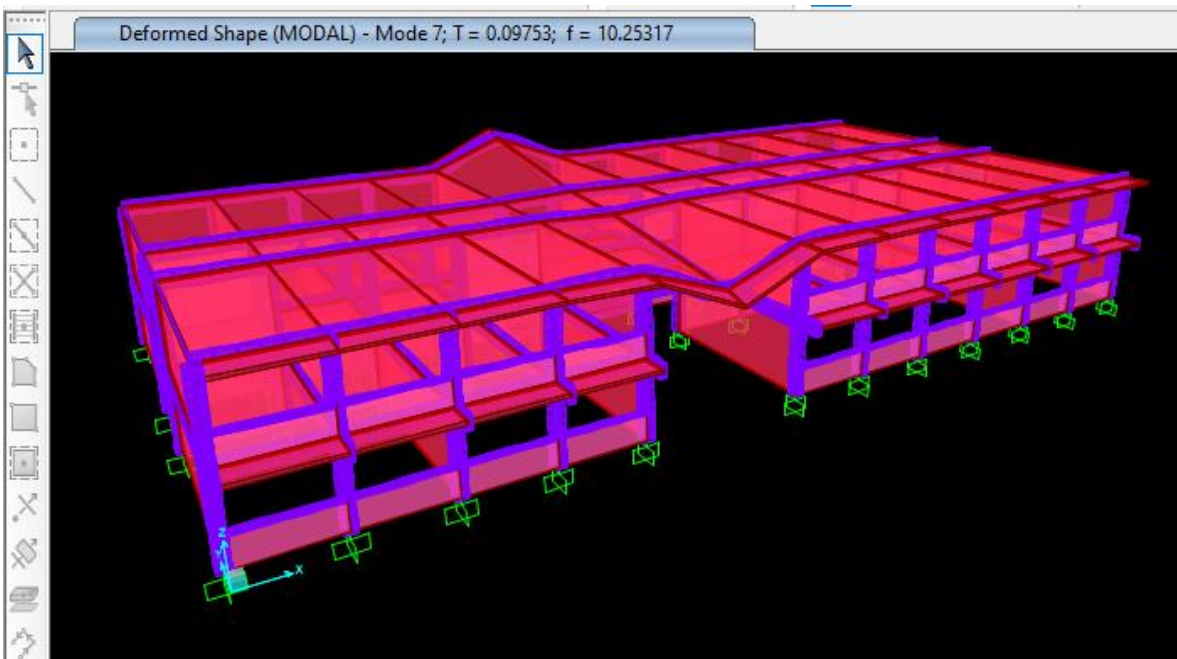


Imagen 52. Modo 7 de vibrar T = 0.0975

CORTANTES Y MOMENTOS DE LOS MARCOS RIGIDOS

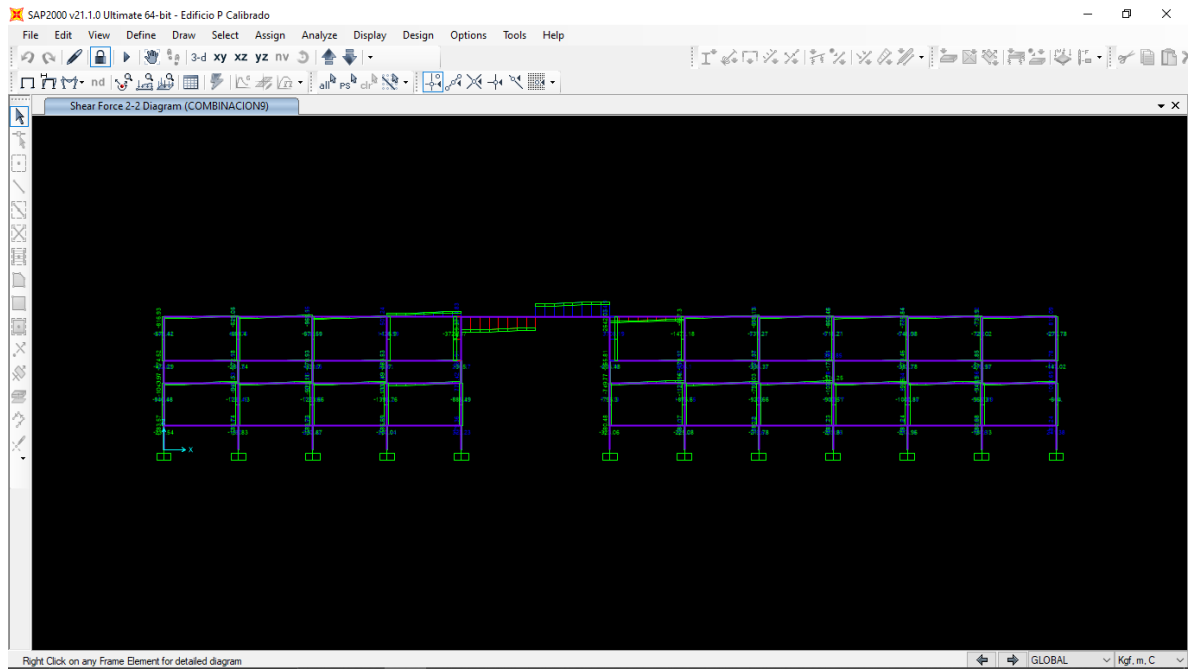


Imagen 55. Diagrama de Fuerza Cortante, Combinación 9, Longitudinal

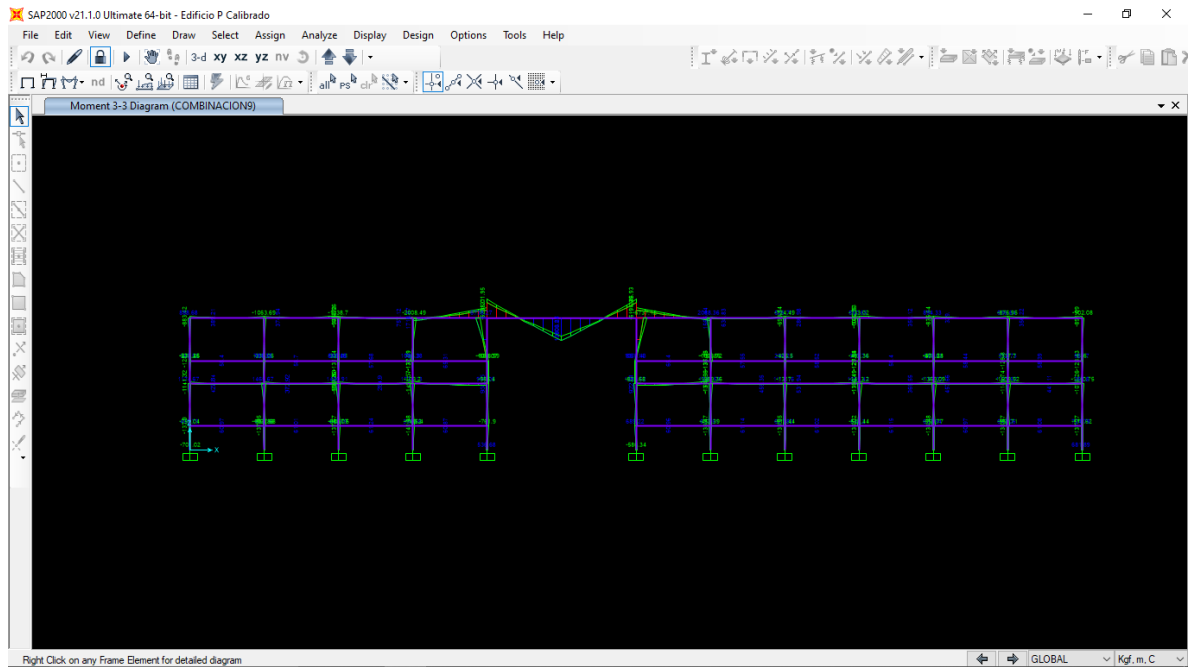
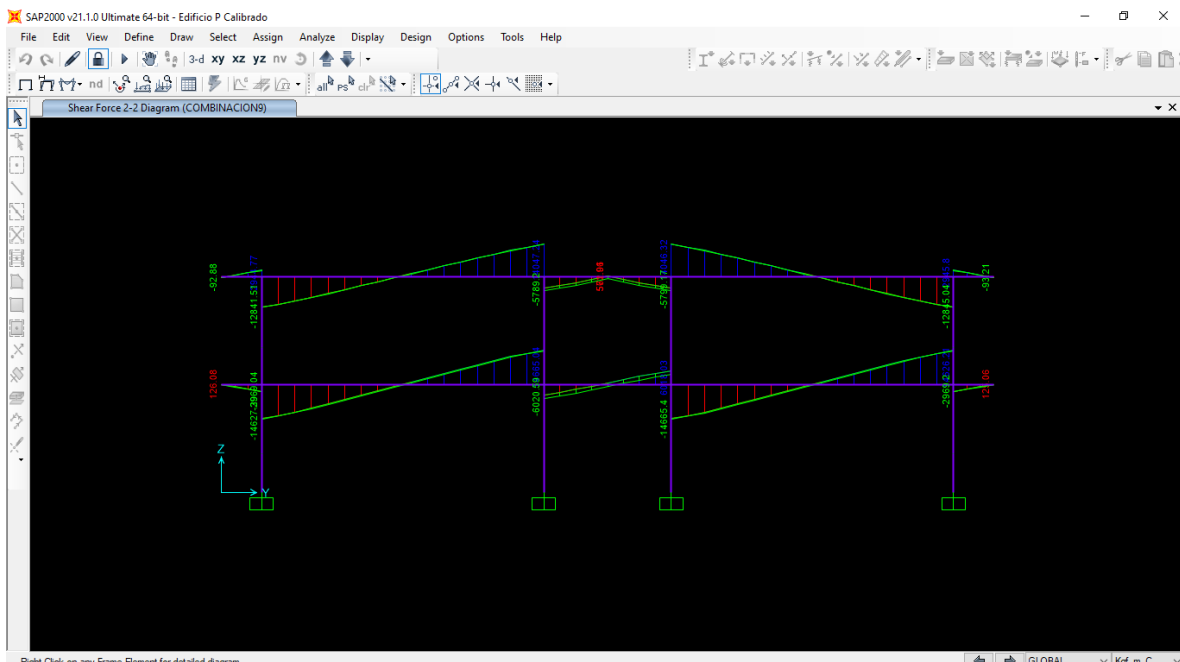
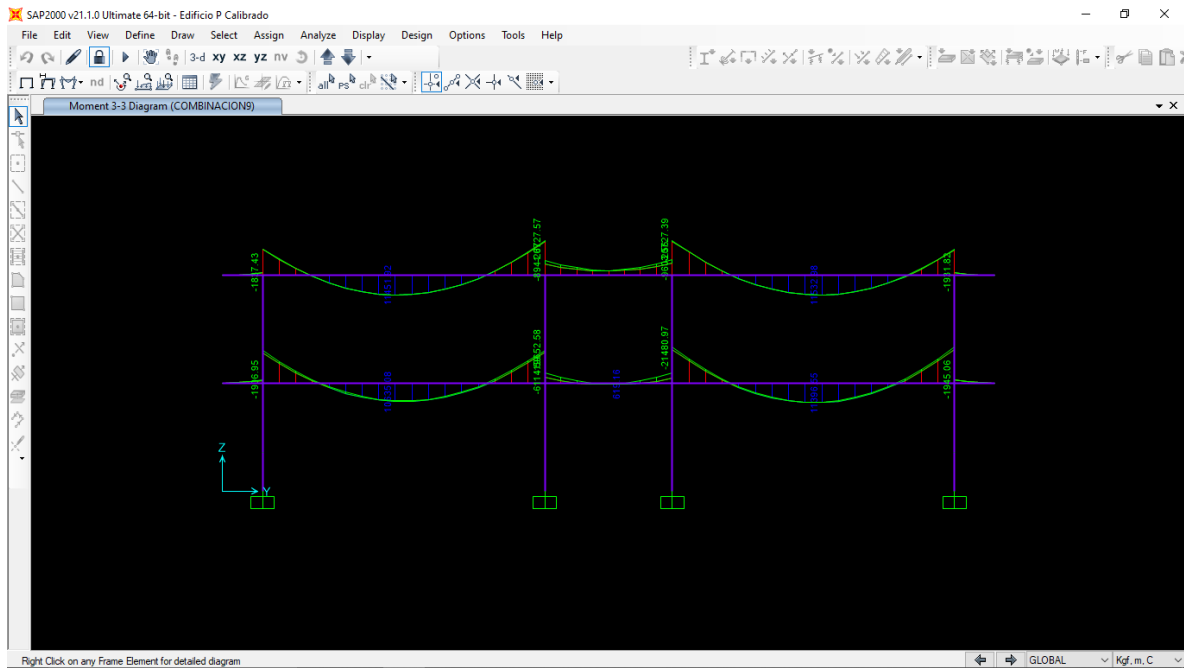


Imagen 54. Diagrama de Momento, Combinación 9, Longitudinal



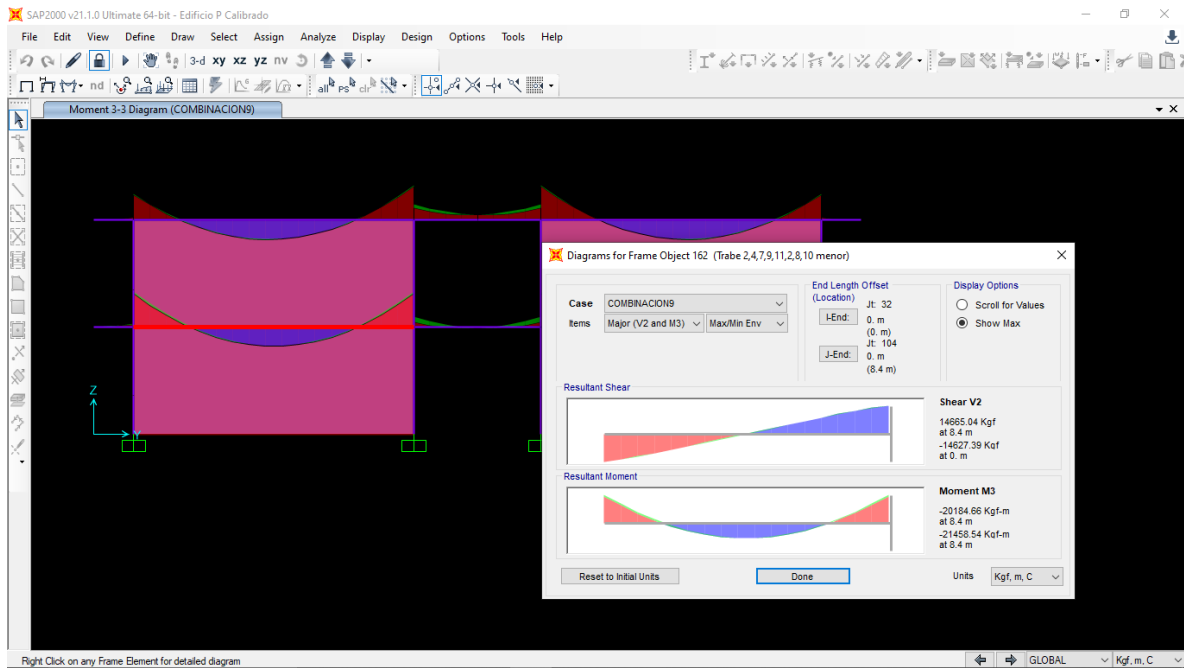


Imagen 59. Elemento con el cortante máximo

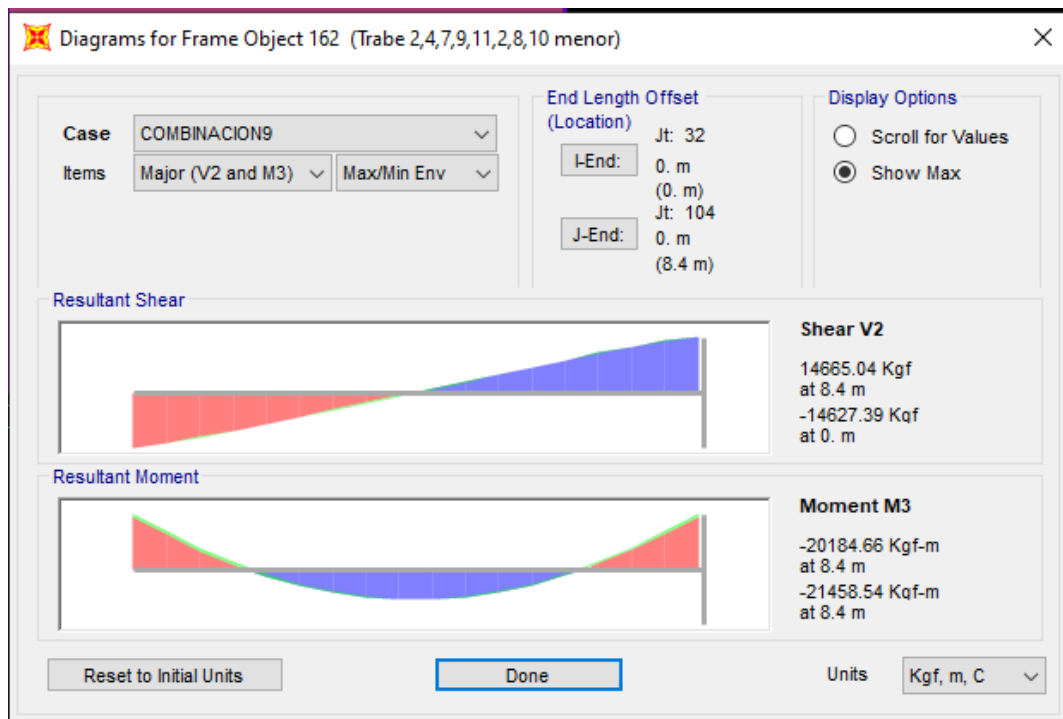


Imagen 58. Diagramas del elemento con el cortante máximo

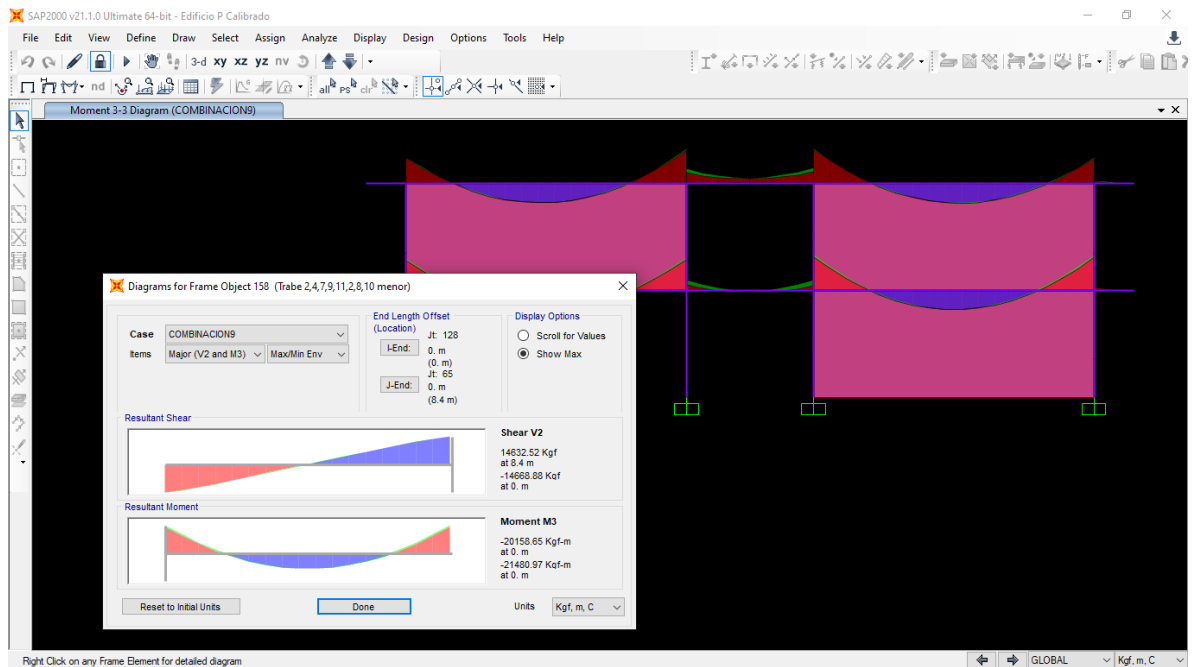


Imagen 61. Elemento con el momento máximo

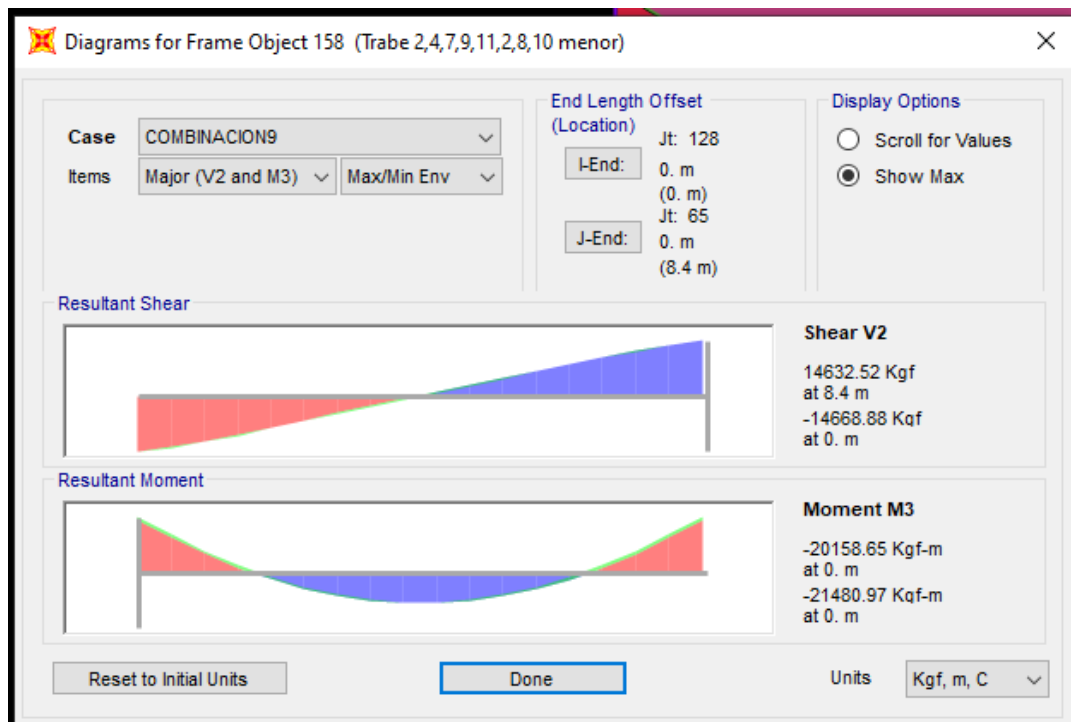


Imagen 60. Diagramas del elemento con el momento máximo

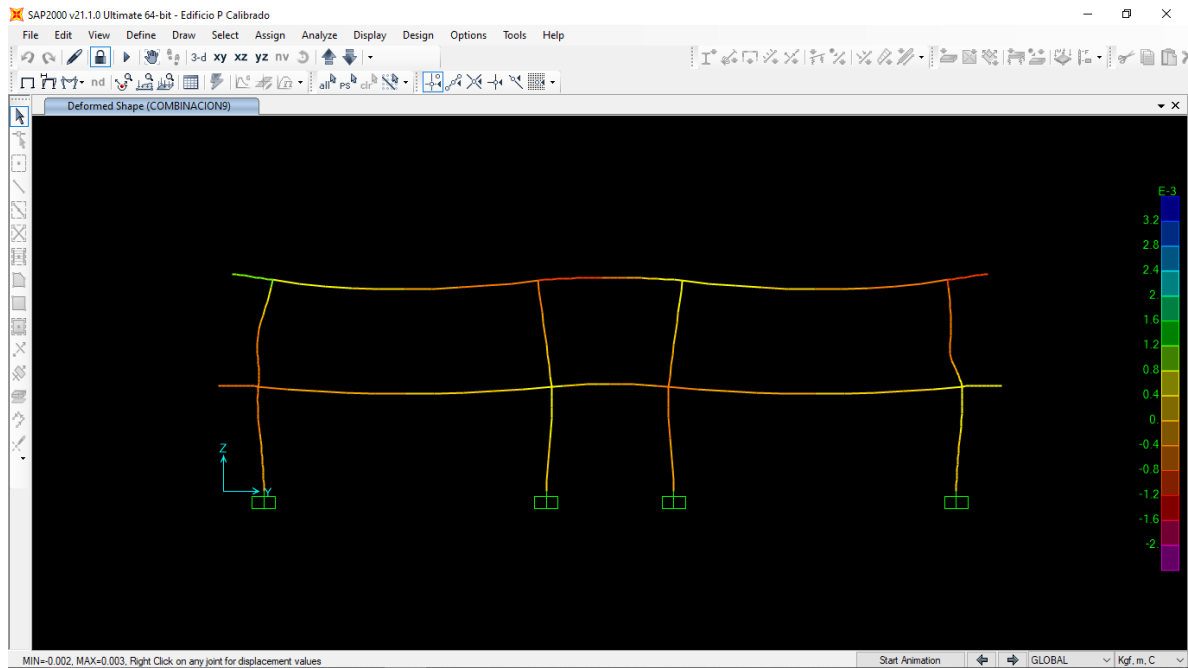


Imagen 62. Diagrama de deformaciones, Combinación 9, Transversal

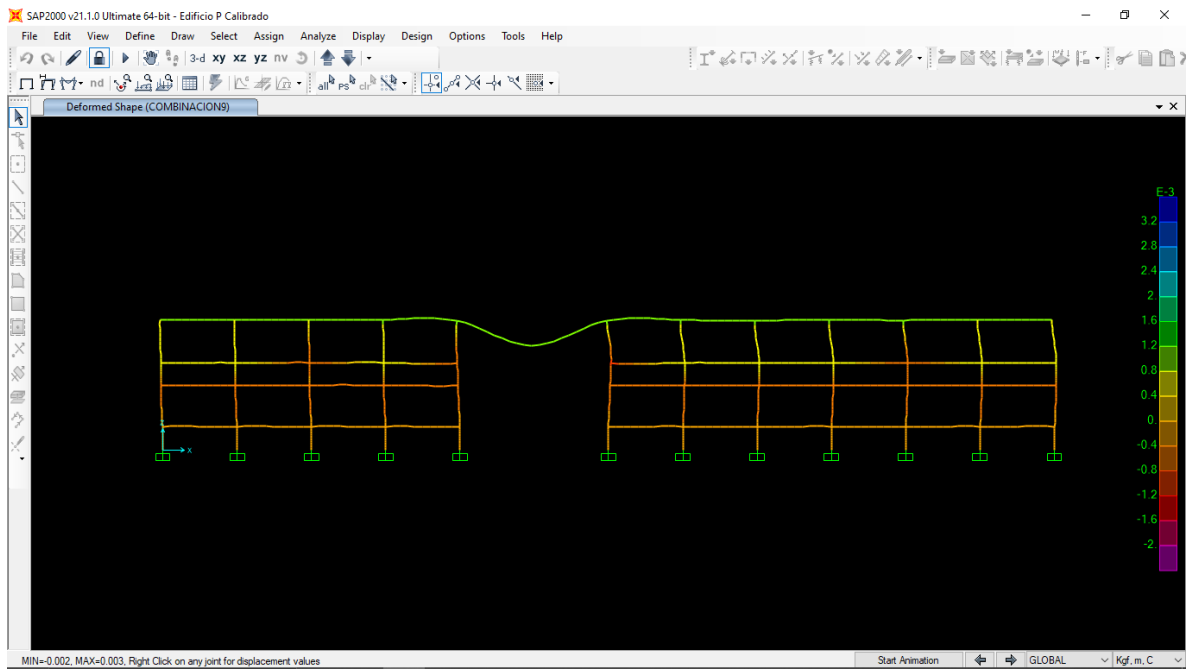


Imagen 63. Diagrama de deformaciones, Combinación 9, Longitudinal

REVISIÓN POR DESPLAZAMIENTO LATERAL (DISTORSION)

El estado límite de prevención de colapso, se debe revisar por medio de las distorsiones obtenidas en el espectro de diseño, estos valores no deberán superar los valores de γ_{max} , según corresponda el sistema estructural.

$\gamma_{max}=0.015$, valor obtenido de las NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO CON COMENTARIOS

Mediante los datos obtenidos en los espectros elásticos de desplazamiento del sismo de 2017, ocuparemos los desplazamientos respectivos a los periodos que obtuvimos con el acelerógrafo en la prueba de campo y con los datos obtenidos en la fórmula de la deformación equivalente.

Edificio P

El desplazamiento máximo correspondiente al edificio P, es en la dirección longitudinal (NS), corresponde al periodo de $T=0.1297$, con una deformación de 0.377cm. Ocupando el mismo periodo, buscamos el desplazamiento correspondiente al archivo ESD-SAPP1709191-NS.

Periodo (seg)	Desplazamiento (cm)
0.09000	0.04433
0.10000	0.05643
0.11000	0.07186
0.12000	0.08975
0.13000	0.11625
0.14000	0.13395
0.15000	0.15225

Tabla 6 Datos del ESD-SAPP1709191-NS

Ocupando el periodo $T=0.12$ seg, nos da un desplazamiento de 0.089 cm.

Las distorsión para el desplazamiento de 0.377cm es igual a $0.00058 < \gamma_{max} = 0.015$

Las distorsión para el desplazamiento de 0.089cm es igual a $0.00013 < \gamma_{max} = 0.015$

Los valores no superan γ_{max}

Edificio Z

El desplazamiento correspondiente al edificio Z, ahora corresponde en la dirección transversal (EW), corresponde al periodo de $T=2.27$, con una deformación de 115.12cm. Ocupando el mismo periodo, busquemos el desplazamiento correspondiente al archivo ESA-SAPP1709191-EW.

Periodo (seg)	Desplazamiento (cm)
2.24000	11.31800
2.25000	11.17500
2.26000	11.00900
2.27000	10.82600
2.28000	10.62100
2.29000	10.40100
2.30000	10.16700
2.31000	10.01000

Tabla 7 Datos del ESA-SAPP1709191-EW

Ocupando el periodo $T=2.27$ seg, nos da un desplazamiento de 10.82 cm.

La distorsión para el desplazamiento de 115.12cm es igual a $0.179 > \gamma_{\max} = 0.015$

La distorsión para el desplazamiento de 10.82cm es igual a $0.0169 > \gamma_{\max} = 0.015$

Los valores superan $\gamma_{\max}$

9.-CONCLUSIONES

En el transcurso del trabajo de investigación, nos dimos cuenta que los edificios que se eligieron, edificio P y Z del Tecnológico Nacional de México, Campus Apizaco, compartían demasiadas características físicas, por lo que esperábamos resultados parecidos. Sin embargo, en la parte de cocientes espectrales, al comparar los resultados de los periodos, transversal, longitudinal, torsión respecto de CH3 y torsión respecto de CH2, eran resultados muy diferentes.

En el edificio P, dominaba el periodo longitudinal, $T=0.129$ segundos, por lo que es un resultado que se podría esperar para un edificio de 2 niveles, con una deformación máxima de 0.377 cm y un desplazamiento máximo para el sismo del 2017 de 0.089cm y que, aplicando las condiciones de revisión de desplazamiento lateral, cumple con ser menor a γ_{max} , por lo que este edificio se encuentra en unas condiciones no vulnerables.

Para el edificio Z, mostró periodos demasiado diferentes al P, destacar que, por condiciones técnicas, no se pudo obtener los resultados a torsión, sin embargo, con los periodos longitudinal y transversal, fueron de 1.96 segundos y 2.27 segundos respectivamente. Utilizando el periodo de 2.27 segundos, nos da una deformación máxima de 115cm aproximadamente, por lo que no es normal para un edificio de 2 niveles, presenta condiciones muy flexibles. Con ese periodo se aplicó a la revisión por desplazamiento lateral y no cumple con ser menor al γ_{max} . Este edificio será notificado a las autoridades correspondientes del Instituto Tecnológico de Apizaco, para poder estudiarlo más a detalle, y que no sea vulnerable ante los próximos eventos sísmicos.

Al vivir en un país altamente sísmico, es de gran importancia conocer este tipo de información de análisis en construcciones, como constructores debemos estar pendientes de la vulnerabilidad estructural, en especial aquellas edificaciones de tipo A, como son hospitales y escuelas.

10.-BIBLIOGRAFIA

INIFED. (2015). NORMAS Y ESPECIFICACIONES PARA ESTUDIOS, PROYECTOS, CONSTRUCCION E INSTALACIONES. *DISEÑO POR SISMO*.

Ismael Hernandez, E. (2003). Funciones de vulnerabilidad sísmica para el diseño óptimo de sistemas marco-muro.

Javier Lermo Samaniego. (2005). Zonificación Sísmica Del Estado de Tlaxcala, Mexico .

Lascano, J. (2015). COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A LA RESONANCIA. Quito, Ecuador.

Lozano. (Diciembre de 2007). ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE SEÑALES DE FUENTES. Colombia.

Referencia de los datos sísmicos usados

Los datos sísmicos fueron proporcionados por la Red Acelerográfica del Instituto de Ingeniería (RAII-UNAM), producto de las labores de instrumentación y procesamiento de la Unidad de Instrumentación Sísmica. Los datos son distribuidos a través del Sistema de Base de Datos Acelerográficos en web: <http://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/>

11.-ANEXOS

FOTOGRAFIAS DE LA PRACTICA



Imagen 65. Orientación del equipo



Imagen 64. Instalación de equipo en el centro geométrico



Imagen 66. Nivelación de equipo



Imagen 68. Conexión a batería

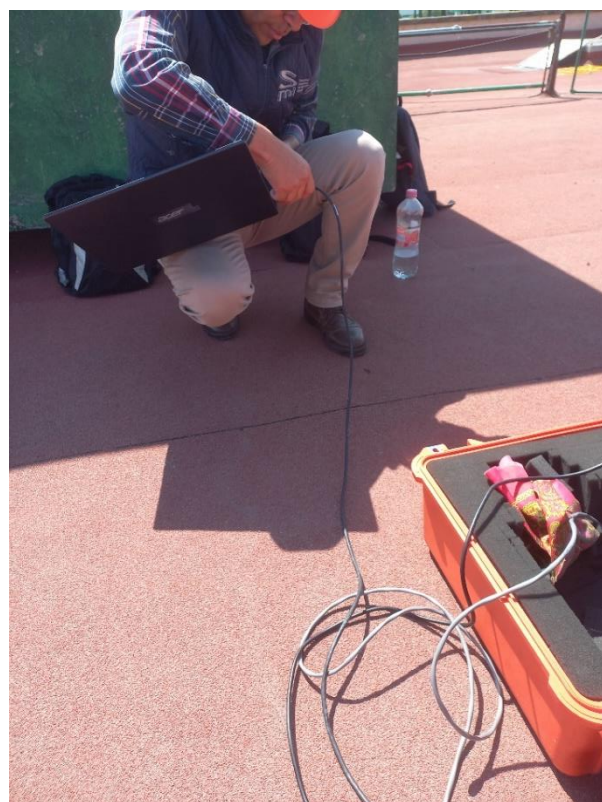


Imagen 67. Conexión vía ethernet a pc

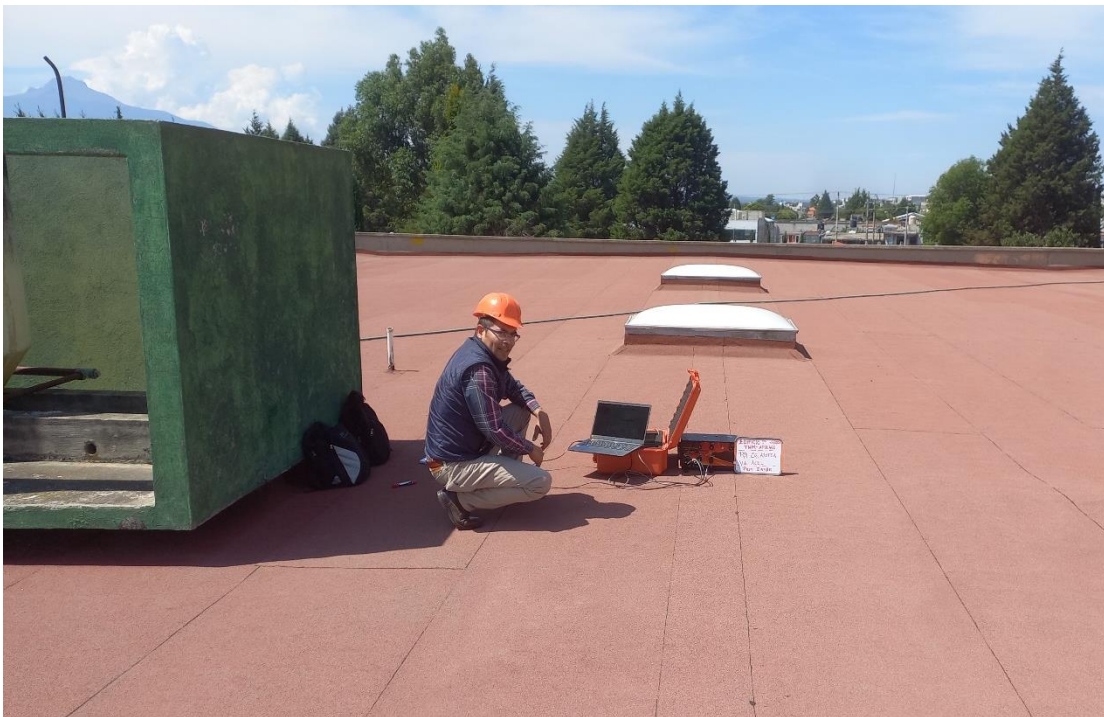


Imagen 70. Toma de muestras en centro geométrico, azotea



Imagen 69. Toma de muestras centro geométrico, planta baja

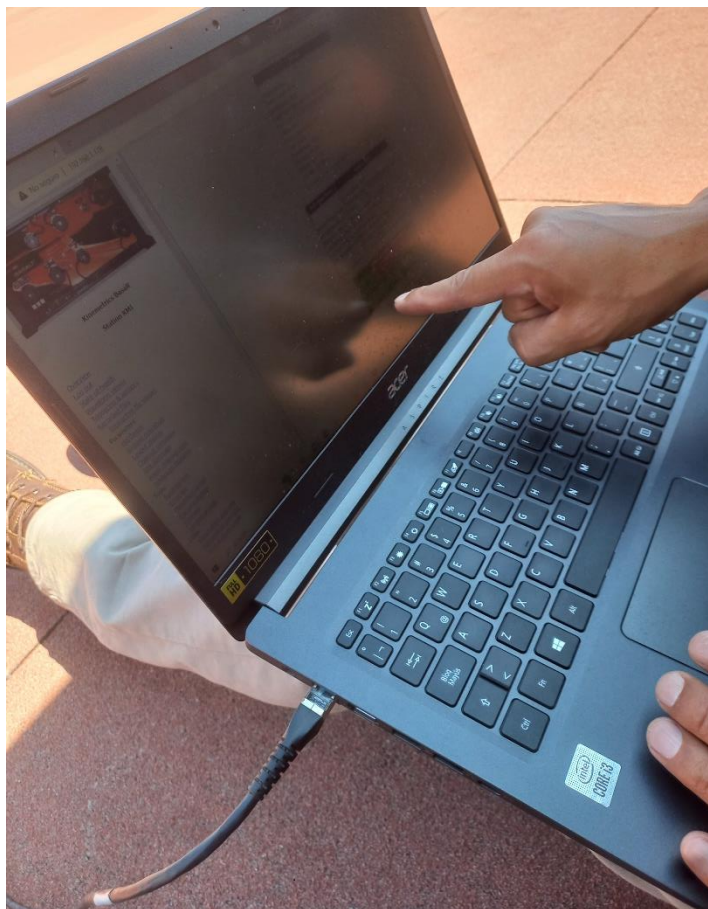


Imagen 72. Configuración en pc



Imagen 71. Toma de muestras en azotea

PLANOS ESTRUCTURALES DE LOS EDIFICIOS

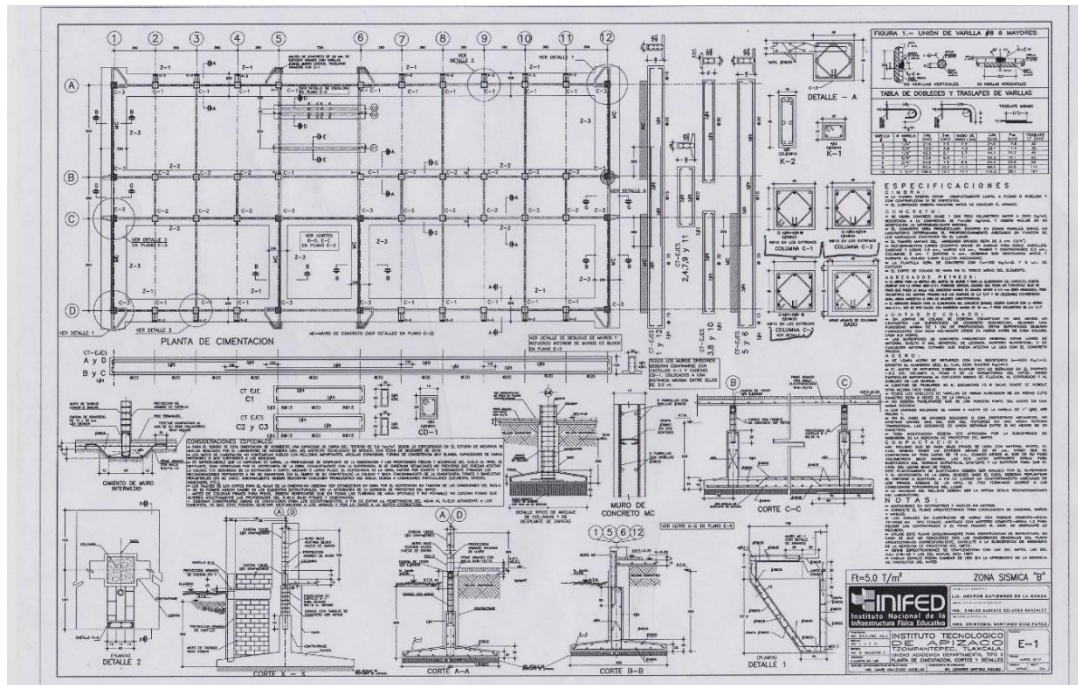


Imagen 73. Plano E-1

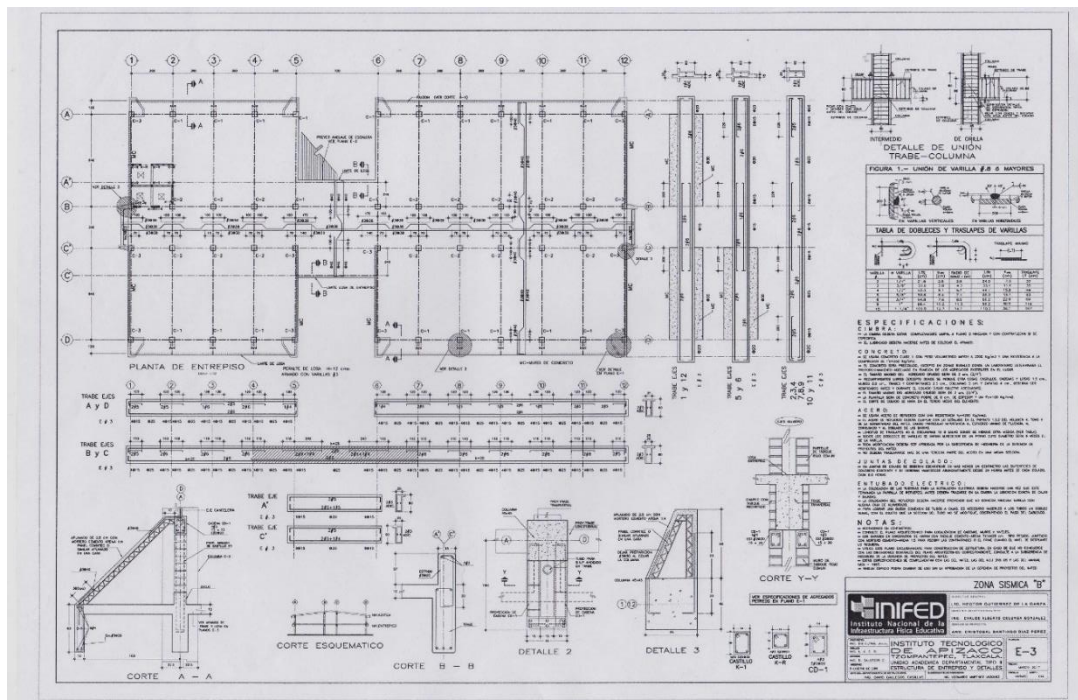


Imagen 74. Plano E-3

