

“Medición e interpretación de las vibraciones en estructuras de entrepiso dentro del subgrupo de ocupación I3: discotecas y/o gimnasios”

Trabajo de Grado
Presentado para optar al título de
Ingeniero Civil
Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Javeriana

Presentado por:
Juan David Prieto Jimenez

Dirigida por:
Daniel Mauricio Ruíz.

2012

1. Objetivos

General

Registrar e interpretar las vibraciones debidas a la actividad humana en discotecas y/o gimnasios de la ciudad de Bogotá.

Específicos

Comparar las amplitudes de vibraciones registradas (aceleración, pseudo-velocidad y pseudo-desplazamiento) con los límites establecidos en las normas internacionales.

Estimar los esfuerzos inducidos por las vibraciones en el sistema estructural de entrepiso.

Estimar las cargas dinámicas aplicada que producen las vibraciones mediante funciones de carga.

2. Marco Teórico

La ingeniería estructural en Colombia estudia con gran énfasis la modelación y análisis de las vibraciones causadas por los movimientos telúricos, debido a que éstas poseen un gran potencial de daño sobre las estructuras. Sin embargo, existen otro tipo de fuentes de vibración tales como el efecto de la explotación minera, el tránsito y las actividades humanas que también interactúan con las estructuras. En países como Canadá, Estados Unidos y Alemania existe gran cantidad de investigaciones y diferentes normatividades sobre fenómenos de vibración relacionados con las actividades humanas, abriendo un nuevo escenario llamado: relación Humano - Estructura.

Algunos ejemplos de estas investigaciones son los presentados en las referencias (1) y (2), en los cuales se determinaron los rangos normales de las aceleraciones generadas por vibraciones producto de la interacción humana estructura como lo indica la tabla 1.0

Límites de Aceleración Recomendados para actividades rítmicas humanas	
Ocupaciones Afectadas por vibraciones	% g
Oficinas y residencial	0.4-0.7
Levantamiento de pesas	1.5-2.5
Actividades Rítmicas Únicamente	4.7-7

Tabla 1.0 Tomado de la Referencia (2)

Los aspectos más importantes en dichos estudios en el que se hicieron pruebas con personas, haciendo actividades rítmicas sobre losas fueron mediciones in situ y su respectiva evaluación de los registros de vibración mediante modelos matemáticos para definir, estados de esfuerzos y los estados de frecuencia peligrosos en los cuales las vibraciones generan molestias a las personas.

Estas vibraciones en determinadas amplitudes de desplazamiento y frecuencias de vibración, pueden causar daños en las estructuras y por consiguiente llevar riesgo a las personas como se indicará posteriormente.

Los estudios realizados a la fecha en Colombia en el tema de la relación humano estructura, se ha orientado únicamente a espacios donde se generan las mayores aglomeraciones sobre estructuras en concreto reforzado, y en estructuras metálicas como los estadios deportivos y en puentes peatonales.

En Colombia ha habido casos de colapsos estructurales que dejaron víctimas humanas como la ocurrida el 25 de abril de 2008 durante un concierto en el

Guillermo Plazas Alcid en la ciudad de Neiva, lo cual genera una necesidad en el conocimiento profundo de la interacción Humano - Estructura.

El artículo más relevante escrito en éste contexto en Colombia y de vital importancia para el estado del arte la relación Humano- estructura en el país fue el artículo: “Caracterización del efecto de la interacción Humano-Estructura en el Estadio Olímpico en Cali, Colombia” en el cual se analizaron las vibraciones producidas por la carga viva (personas) en el Estadio Pascual Guerrero mediante la obtención de funciones de carga para personas en movimiento y su posterior aplicación en modelos analíticos. A continuación, los resultados más relevantes de éste estudio serán comparados con los resultados del presente trabajo resumidos en la tabla 1.1.

Datos tomados en Voladizos	
Genero	Rango De Frecuencia Hz
Salsa	1.05-3.55
Merengue	1.05-2.65
Vallenato	1.13-2.75
Regeton	1-mayores a 3

Tabla 1.1 Estimación de Frecuencia por Género de Música, en tomas directas medidas sobre Voladizos del Estadio Pascual Guerrero de la ciudad de Cali.

Por otro lado, es de resaltar que realizaron un modelo numérico del estadio, y este fue sometido a diferentes casos, acorde a la tabla 1.1 la cual se construyó con datos reales de conciertos.

El resultado de este estudio indicó que el modo fundamental de vibración de una edificación puede variar si la estructura está siendo sometida a una actividad rítmica constante en el tiempo.

Por otro lado, el objeto de estudio del presente trabajo se basó en que las actividades sociales generadoras de vibraciones en las discotecas de la ciudad de Bogotá, son las que tienen un flujo de potenciales víctimas y accidentes en los días de mayor recreación como son los viernes y sábados en la noche. Se estima que en una noche de sábado de quincena, estos sitios pueden albergar alrededor de 20.000 personas en un cuadrante.

Resulta de especial importancia este proyecto puesto que no abundan en la literatura, estudios específicos sobre vibraciones en discotecas, en especial en Colombia.

Como aporte a los estudios realizados en dicha rama de la ingeniería estructural este proyecto tiene como objetivo analizar las vibraciones debidas a actividades humanas, en entrepisos del subgrupo de ocupación (L3) Discotecas y/o Gimnasios, cuyas vibraciones se producen por el fenómeno de seres humanos bailando sobre losas, y así comparar los resultados contra los obtenidos por estudios similares como los indicados en las referencias (1), (2),(12) , y a su vez con normatividades internacionales como la norma alemana DIN 4150-2. Vibraciones en construcciones y humanos expuestos a vibraciones en edificios, siendo ésta la norma más completa en cuanto al estudio de vibraciones debidas a la actividad humana.

Uno de sus estudios Referencia (2), consistió en analizar un gimnasio. Como primera medida se determinó y analizó el sistema estructural del gimnasio, evaluando las zonas donde ocurrían las principales actividades rítmicas.

Tomando los registros de aceleración y calculando su respectivo espectro de Fourier para determinar el modo de frecuencia dominante, como lo muestra la figura 1.1:

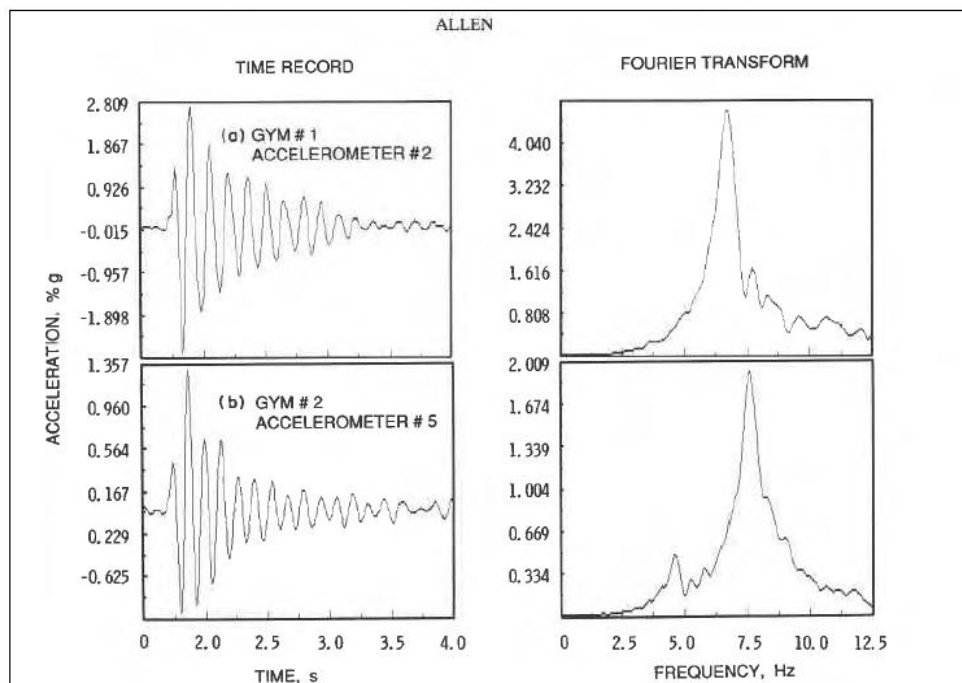


Figura 1.2 Registros de aceleración y espectros de Fourier, Tomado de la referencia (2)

Para objeto de comparación de los resultados arrojados por el presente trabajo se utilizará la metodología anteriormente mencionada.

Teniendo en cuenta lo anterior referente a los estándares internacionales, la norma DIN 4150 (part. 3), establece los valores máximos de velocidad de vibración (en mm/s) en función de la frecuencia, para que no se observen daños en diferentes tipos de edificaciones (comercial, viviendas, edificios, industrias). Estos valores se presentan en la Tabla 1.3. No obstante, el método seleccionado para el análisis de este trabajo se basó en el estudio de las aceleraciones y de los desplazamientos.

Tipo de Edificación	Frecuencia		
	< 10 Hz	10-50Hz	50-100 Hz
Comercial e Industrial	20	20-40	40-50
Viviendas y Edificios	5	5-15	15-20
Estructuras delicadas, muy sensibles a la vibración	3	3-8	8-10

Tabla 1.3 Valores Máximos de Velocidad de partícula (mm/s) para evitar daños (Norma DIN 4150, Standard for ground vibration caused by blasting)

Los rangos establecidos por la norma DIN 4150, para vibraciones generadas por actividades humanas establece los siguientes límites entre los cuales a determinada frecuencia en Ciclos por Minuto (CPM), determinado rango de amplitud de desplazamiento en (IN) dicha actividad no es perceptible como se muestra en la tabla 1.4

NO PERCEPTIBLE	
FRECUENCIA (CPM)	AMPLITUD (in)
1200	0.0001
144.8771854	0.0009

Tabla 1.4 Rango de Vibraciones No perceptibles.

Los rangos establecidos por la norma DIN 4150, para vibraciones generadas por actividades humanas, establece los siguientes límites entre los cuales a determinada frecuencia en Ciclos por Minuto (CPM), determinado rango de amplitud de desplazamiento en (IN), dicha actividad sea difícilmente perceptible como se muestra en la tabla 1.5

DIFICIL PER	
FRECUENCIA (CPM)	AMPLITUD (IN)
4500	0.0001
200	0.002344229

Tabla 1.5 Rango de Vibraciones Difícilmente Perceptible

Los rangos establecidos por la norma DIN 4150, para vibraciones generadas por actividades humanas establece los siguientes límites entre los cuales a determinada frecuencia en Ciclos por Minuto (CPM), cada rango de amplitud de desplazamiento en (IN) dicha actividad es perceptible a personas como se muestra en la tabla 1.6

PERCEP PERS	
FRECUENCIA (CPM)	AMPLITUD (IN)
5000	0.0002
300	0.004

Tabla 1.6 Rango de Vibraciones Perceptibles a personas.

Los rangos establecidos por la norma DIN 4150, para vibraciones generadas por actividades humanas establece los siguientes límites entre los cuales a determinada frecuencia en Ciclos por Minuto (CPM), determinado rango de amplitud de desplazamiento en (IN) dicha actividad es intenso a personas como se muestra en la tabla 1.7

INTEN PERS	
FRECUENCIA (CPM)	AMPLITUD (IN)
4800	0.000399945
4200	0.000446684
1940.885878	0.001023293
1000	0.00237684
822.2426499	0.003311311
613.7620052	0.005164164
306.1963434	0.019952623

Tabla 1.7 Rango de Vibraciones intenso a personas.

Los rangos establecidos por la norma DIN 4150, para vibraciones generadas por actividades humanas establece los siguientes límites entre los cuales a cierta frecuencia en Ciclos por Minuto (CPM), determinado rango de amplitud de desplazamiento en (IN) dicha actividad es severo a personas como se muestra en la tabla 1.8

SERV PERS	
FRECUENCIA (CPM)	AMPLITUD (IN)
5382.697825	0.00045
5000	0.0005

3000	0.001
1800	0.002
1020.939484	0.004753352
712.8530301	0.01
568.8529308	0.018

Tabla 1.8 Rango de Vibraciones Severo a personas

En la Figura 1.4 se presenta una figura adaptada de la referencia 13 con estos niveles de sensibilidad. Por su parte la Norma ISO 2631-77 establece una limitación entre 3-5 mm/s para controlar el aspecto de la sensibilidad humana.

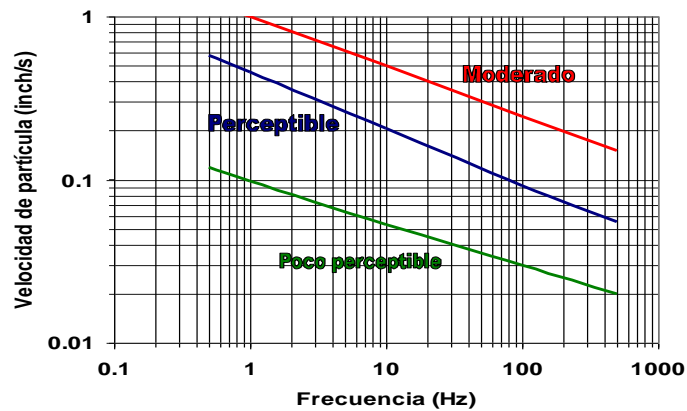


Figura 1.4 Sensibilidad humana a las vibraciones Norma ISO 2631-77

Finalmente los limites que relacionan la aceleración con un límite tomado de la Norma ISO 2631-2:1989 *performance evaluación curve*, la cual se muestra en la figura 1.1 indica los rangos normales de aceleración donde es esperan coincidan sus órdenes de magnitud con los registros que se tomaron en este trabajo.

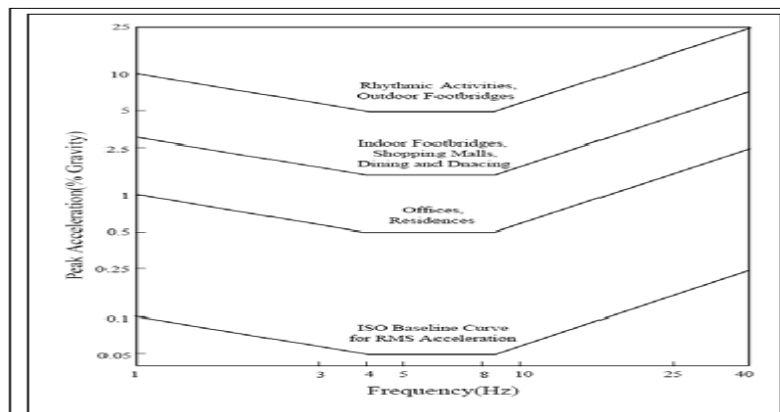


Figura 1.2 ISO 2631-2:1989 performance evaluación curve

La normatividad colombiana define que el diseño de estructuras cuyo uso es de reuniones sociales en la cual se encuentran la discotecas, se debe tener en cuenta un factor de diseño de carga viva de 5 KN/m^2 , de esta manera la poca investigación en Colombia al respecto aun no ha definido un parámetro de los límites de vibración únicamente para discotecas, de tal manera que se asume que una estructura que va a estar expuesta a cargas dinámicas debe cumplir como mínimo con una frecuencia de 5 Hz.

Para comprender este documento es necesaria la siguiente conceptualización. La dinámica es el estudio de un cuerpo o partícula en movimiento, esta se aborda desde dos perspectivas, la primera es la cinemática la cual analiza la geometría del movimiento a través de variables como el desplazamiento, la velocidad la aceleración y el tiempo. La segunda es la cinética, la cual analiza la acción de las fuerzas que participan en la generación del movimiento.

Dentro de este marco de conocimiento se encuentra la dinámica estructural, la cual es el sustento teórico del presente trabajo de grado. Esta rama de la dinámica estudia las vibraciones de las estructuras entendiéndolas como cuerpos flexibles, aunque bajo algún tipo de condición las deformaciones son de un orden de magnitud tan pequeño que las estructuras se pueden modelar como cuerpos rígidos.

Uno de los conceptos necesarios para la comprensión de este trabajo es el del *oscilador simple*, este es un sistema mecánico constituido por características fundamentales tales como una masa (m) cuyo movimiento está condicionado por la rigidez (k) de un resorte y un amortiguador (C) que puede estar funcionando en serie o en paralelo y a su vibración natural (w).

En la Figura 1.1a) y 1.1b) se muestran dos maneras de representar un oscilador simple.

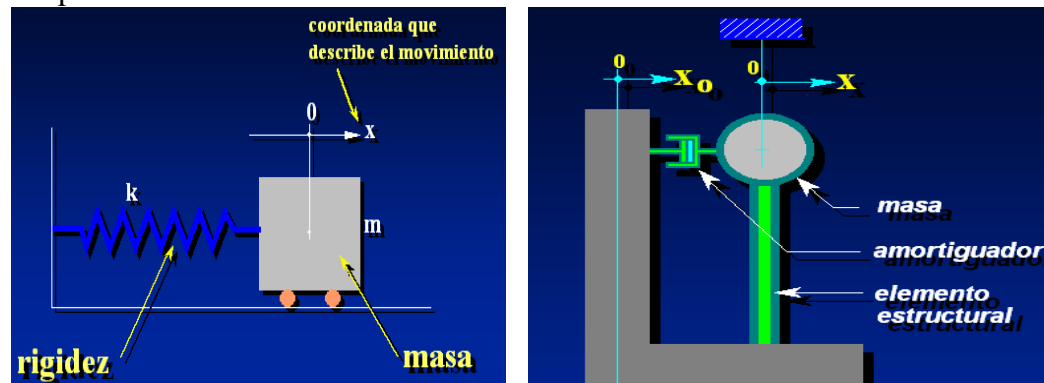


Figura 1.1 Esquemas de osciladores simples

En ese orden de ideas, un sistema mecánico que tenga masa y rigidez puede ser estudiado bajo la teoría de un oscilador simple.

En ingeniería Civil la masa (M) está asociada normalmente con la carga muerta de la edificación (peso propio, cargas permanentes) y la rigidez está directamente vinculada con el sistema de soporte y de resistencia.

“La ventaja de los osciladores simples es que su ecuación de movimiento en el caso sin amortiguamiento (vibración libre no amortiguada) puede ser

representada fácilmente con la ecuación diferencial $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$, donde \ddot{x} corresponde a la aceleración y x corresponde a la posición. Bajo este esquema la solución del sistema en función del tiempo está dada por la siguiente ecuación

$$x(t) = \left(\frac{v_o}{\omega} \right) \text{sen}(\omega t) + x_o \cos(\omega t)$$

y su solución se presenta en la Figura 3.4. (v_o

corresponde a la velocidad inicial, x_o corresponde a la posición inicial y

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}}.$$

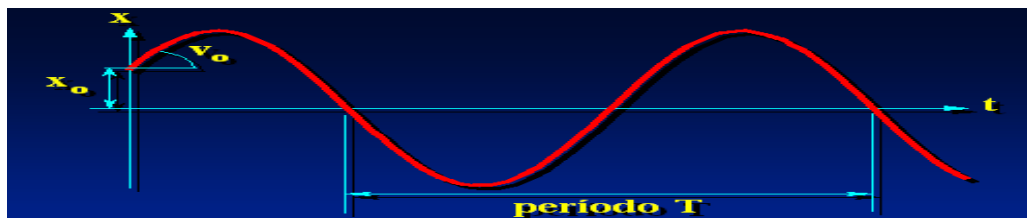


Figura 1.2 Esquema de la solución de un oscilador simple sin amortiguamiento

una vez realizado el anterior proceso una estructura queda representada únicamente por su periodo de vibración (medido en segundos) el cual está dado por

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}.$$

Por otro lado, cuando se vincula el amortiguamiento al sistema (Véase Figura

1.3) se obtiene la ecuación diferencial $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$ donde \ddot{x}

corresponde a la aceleración, x corresponde a la posición y \dot{x} corresponde a la velocidad donde m, c, y k son constantes multiplicadoras .

La solución de esta ecuación diferencial en función el tiempo está dada por la expresión $x(t) = e^{-\xi\omega t} \left[x_o \cos(\omega_a t) + \left(\frac{v_o + \xi x_o \omega}{\omega_a} \right) \text{sen}(\omega_a t) \right]$, donde $\omega_a = \sqrt{1 - \xi^2} \omega$ y $c = 2\xi m\omega$.

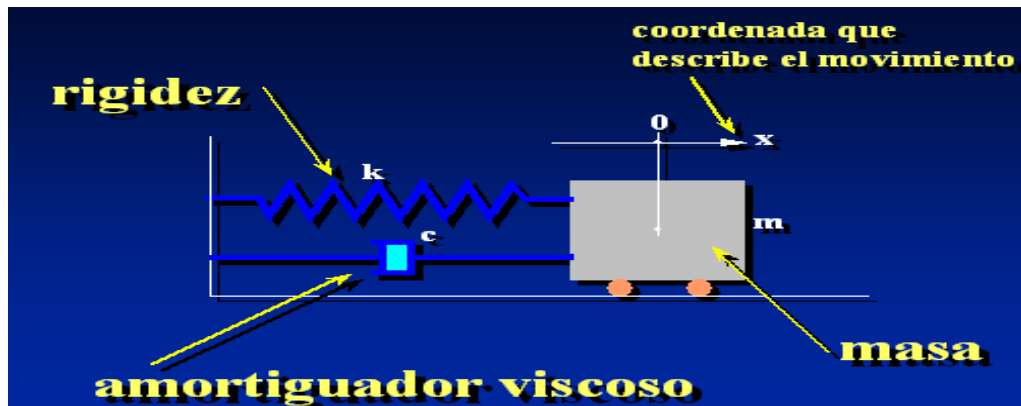


Figura 1.3 Oscilador simple con amortiguamiento

El parámetro ξ se denomina coeficiente de amortiguamiento con respecto al crítico y varía en estructuras entre el 2% y el 10%. De esta manera, para estructuras residenciales se ha adoptado en la literatura y en estudios similares, valores promedio entre 3-5%. Valores cercanos a 3% se utilizan para edificaciones en mampostería, mientras que valores cercanos a 5% para edificaciones en concreto, acero y madera”.

Conforme a la teoría de la dinámica estructural se establecen una serie de modos de vibración y sus periodos asociados a cada modo. El modo de vibración con período asociado más alto, se llama modo de vibración fundamental. Al excitar edificaciones tradicionales de vivienda ante una señal aleatoria se logra una respuesta que en términos generales tiene una mayor participación del modo fundamental y en algunos casos los siguientes modos más cercanos. Bajo la anterior argumentación, puede estudiarse la respuesta, en forma muy sencilla, de cualquier estructura mediante osciladores simples.

Desde el punto de vista de la Ingeniería Civil es importante estimar la máxima respuesta de un sistema estructural con el fin de realizar diseños o verificaciones. Por esta razón, se define un espectro de respuesta como el conjunto de máximos valores de desplazamiento, velocidad o aceleración, que sobre un oscilador simple puede originar una carga aleatoria o determinística.

Para llevar a cabo ésta labor y usando los métodos de dinámica estructural presentados anteriormente, se puede calcular la respuesta de diversas estructuras (representadas por su periodo de vibración fundamental) ante la excitación, que en el caso específico de las vibraciones corresponde a la solución del sistema sometido a movimientos en la base.

Obteniendo la respuesta para diferentes valores de periodo se puede obtener una grafica que relaciona varios valores del periodo T de la estructura contra la máxima respuesta en cada análisis realizado. Dicha gráfica se llama espectro de respuesta para un coeficiente de amortiguamiento con respecto al crítico dado ξ (proporcionado por la estructura bajo análisis).

Amplitud máxima:

Se define simplemente como la amplitud máxima de la señal dada, en las unidades en que se tome el registro (sea de aceleración o de velocidad).

Frecuencia dominante de vibración:

La frecuencia dominante de vibración de una señal aleatoria puede definirse como el número de ciclos por segundo asociado con los pulsos de mayor amplitud de la señal. Depende principalmente de dos factores: de la distancia y de las características del medio transmisor. La importancia de la frecuencia dominante de vibración se basa en el hecho que una misma estructura responde en forma diferente cuando es excitada por vibraciones con diferentes frecuencias dominantes pero idénticas en todos los demás aspectos de medio transmisor y de distancia de fuente, asociado a esto puede eventualmente presentarse una amplificación asociada con el fenómeno de resonancia (coincidencia de la frecuencia de excitación con la frecuencia natural de vibración). Para poder establecer las frecuencias dominantes de movimiento se deben utilizar técnicas matemáticas como los espectros de Fourier.

Velocidad máxima de partículas:

El parámetro que mejor correlación ha mostrado con el nivel de daño producido en edificaciones es la velocidad máxima de partículas (Referencia 13). Existen equipos que dan registros de velocidad directamente, aunque si se dispone de registros de aceleración se puede establecer la velocidad máxima de un registro utilizando las siguientes relaciones (Referencia):

$$v = \frac{a}{\omega}$$
$$\omega = 2\pi f$$

Donde:

v = amplitud máxima de la velocidad
a = amplitud máxima de aceleración (Sa)
w = frecuencia de vibración dominante en rad/s
f = frecuencia de vibración dominante en Hz.

“ tomado textualmente de Referencia 10

A su vez existe una relación directa de entre la velocidad de la onda y aceleración de la onda con la velocidad y los desplazamientos asociados a dicho fenómeno:

Para el Desplazamiento Asociado a la vibración se tiene la siguiente expresión:

$$\Delta = \frac{a}{\omega^2}$$

Donde:

Δ = Desplazamiento (m)
A = Amplitud de aceleración máxima en (m/s²)
w= Frecuencia de vibración Dominante en rad / s

Para el registro de las excitaciones pertinentes a la dinámica estructural se utilizan diferentes equipos; sin embargo un equipo llamado acelerómetro, es el equipo indicado para registrar las actividades humanas debido a su sensibilidad; existen diferentes clases de estos equipos, los cuales varían en su sensibilidad y en las direcciones que son capaces de registrar los eventos sísmicos.

Estos registran aceleraciones respecto a una masa inercial que tiene en su interior. Los acelerómetros utilizados en la instrumentación de las losas en las cuales se efectuaron las medidas de este trabajo de grado, registraban únicamente en sentido uniaxial.

Para el presente caso, los registros acelerográficos corresponden a las mediciones en sentido vertical del terreno medido en dos direcciones horizontales ortogonales, norte-sur y oriente-occidente.

El contenido de las señales registradas con el acelerómetro se pueden procesar transformando el tiempo a contenido de frecuencia, por medio de una relación matemática de las series de Fourier.

Aplicando la transformada de Fourier se obtiene una función que representa la superposición de ondas sinusoidales, la cual indica en su valor máximo la frecuencia dominante de la estructura.

3. Definición del Sistema Estructural

Para la definición de los lugares de medición se contaron con los planos estructurales de todos los puntos de dichos locales, sin embargo ninguno de los sitios permitió formalizar la entrega de dicha información entregando planos en físico o en digital, y con la restricción de no revelar los diseños estructurales en el presente trabajo; no obstante dos de los sitios permitieron tomarles fotografías, las cuales se presentan a continuación.

Del local en el cual no se permitió tomarle fotografías a los planos se hizo una visita, con el propietario antes de hacer las lecturas y se hizo una revisión in situ, se levantaron croquis de la información básica de entrepiso y ubicaciones de ejes de vigas, viguetas y columnas.

3.1 Gimnasio Bodytech Chicó

El gimnasio Bodytech Chicó es la sede más concurrida en la ciudad de Bogotá. A continuación en la foto 1.0 se muestra su fachada:



Foto 1.0 Gimnasio Bodytech Chicó

El gimnasio Bodytech sede Chicó, posee una tipología aporticada en concreto reforzado, con entrepiso en steel deck. En la figura 2.1 se muestra el plano del cuarto piso del gimnasio donde se tomaron las medidas:

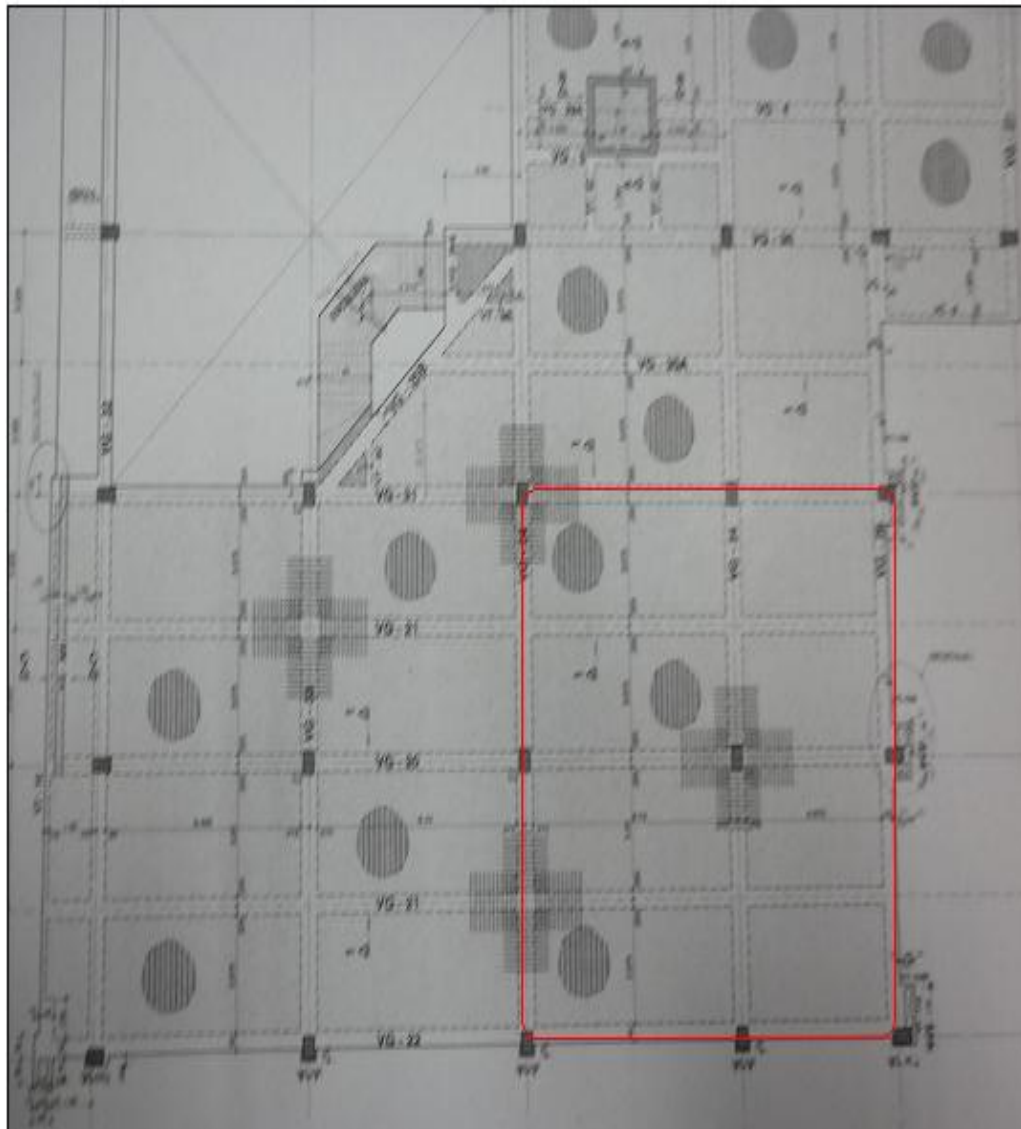


Figura 2.1 Planos del cuarto piso Gimnasio Chicó.

El área que aparece en el recuadro hace referencia a la zona en particular sobre la cual se hicieron las mediciones y a su vez la única zona del gimnasio que se va a modelar en el presente trabajo, en la figura 2.1 ilustra el detallado del entrepiso de dicha sede.



Figura 2.2 Fotografía planos Gimnasio Chicó, detalle de entrepiso

El entrepiso que se representa en la figura 2.2, como se puede notar no posee el detalle del steel deck con su respectivo acanalamiento, el cual juega un papel importante en éste estudio puesto que éste espacio se deposita un volumen importante de concreto que representa masa, la cual aporta a los modos de vibración.

El detalle del steel deck se obtuvo con mediciones in situ la cual se representa a continuación en la figura 2.3, el detallado de la distancia entre vigas se puede apreciar en el capítulo de modelo numérico en la sección del modelo Chicó:

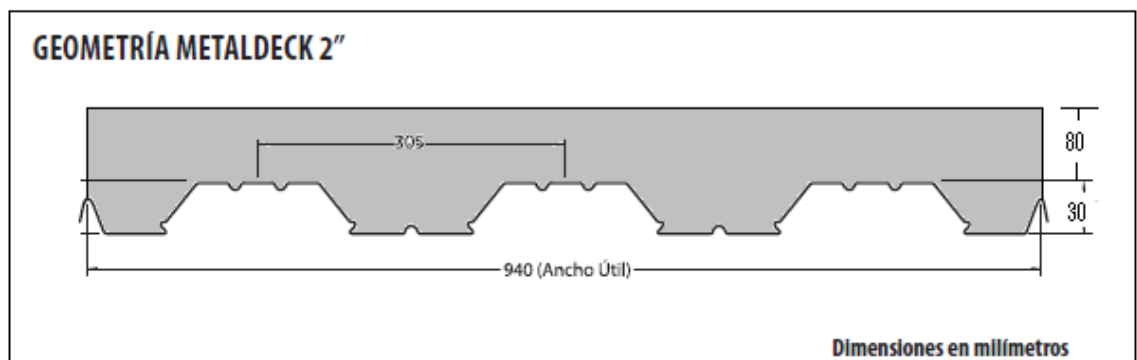


Figura 2.3 Esquema de entrepiso de Gimnasio Chicó

Las dimensiones tipo de las vigas objeto de estudio son de las siguientes medidas como se presenta en la figura 2.4, donde el peralte de la viga no considera el espesor del steel deck:

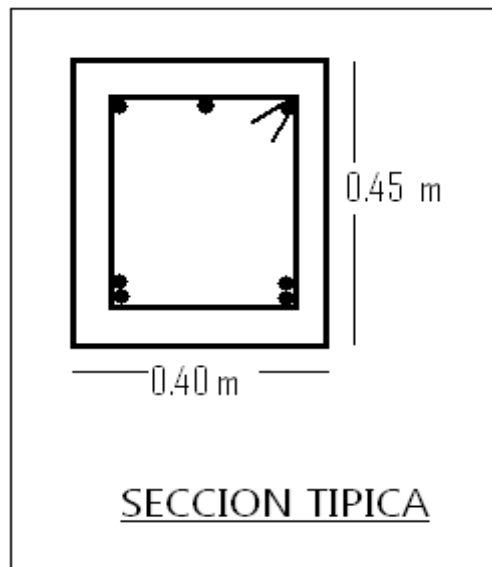


Figura 2.4 Sección típica Vigas Chicó

Dado que el gimnasio se encontraba en el último piso las fotos que se tienen no detallan el entrepiso, empero en la foto 1.1 se notan los pórticos en concreto:

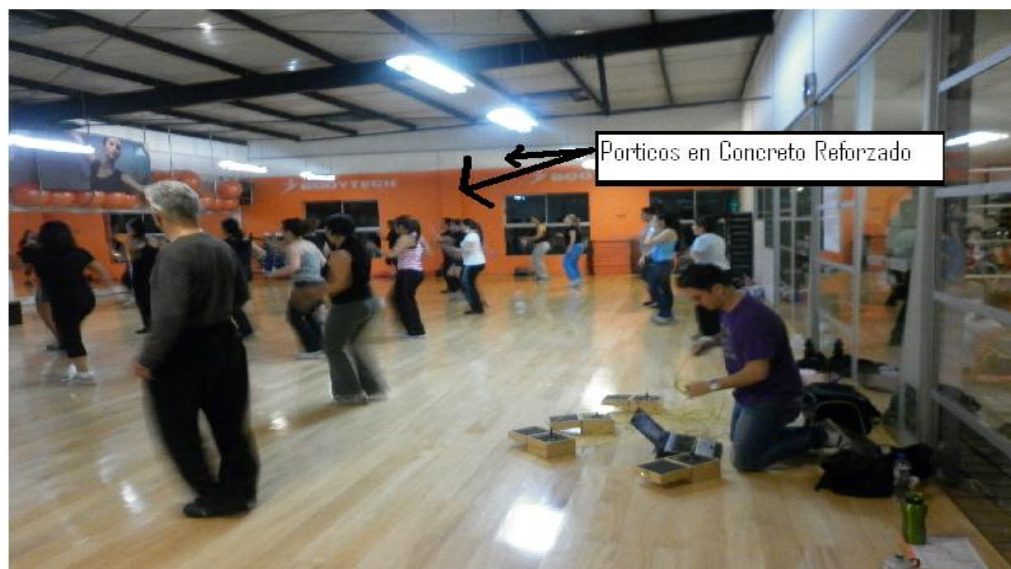


Foto 1.1 Pórticos en concreto Chico

3.2 Gimnasio Bodytech Cabrera

La sede de Cabrera actualmente es una remodelación a una estructura que antes solo poseía 2 pisos, en la cual funcionaban las oficinas de una estación de servicio. Dicha estructura tuvo una ampliación la cual se observa en la foto 1.3.



Foto 1.2 Sede Cabrera Tomada de www.Bodytech.com

El gimnasio bodydetech sede Cabrera, contiene una tipología de elementos de pórticos en acero estructural como se nota en la foto 1.3, con entrepiso en steel deck. A continuación, en la figura 2.5 presenta los planos arquitectónicos:

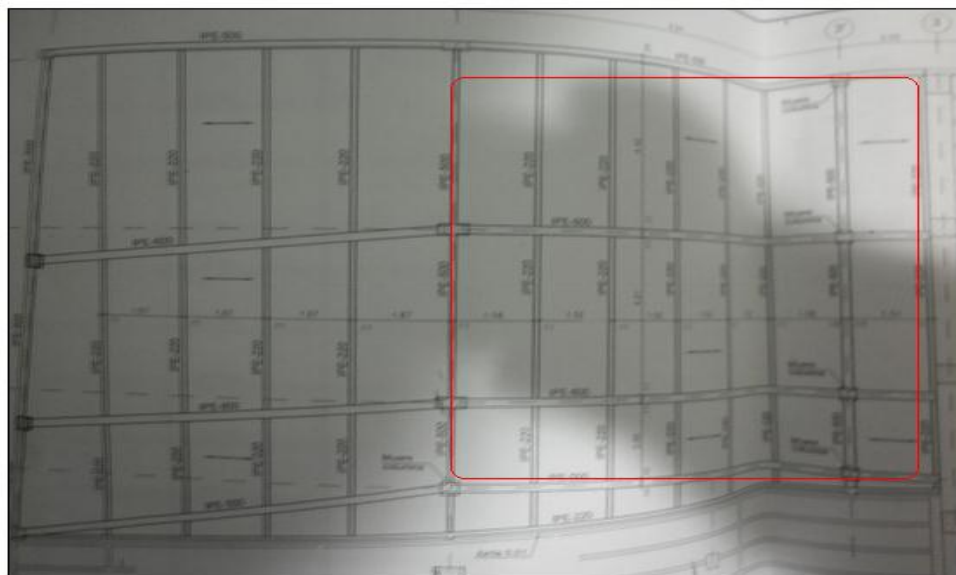


Figura 2.5 Fotografía de planos Gimnasio Cabrera

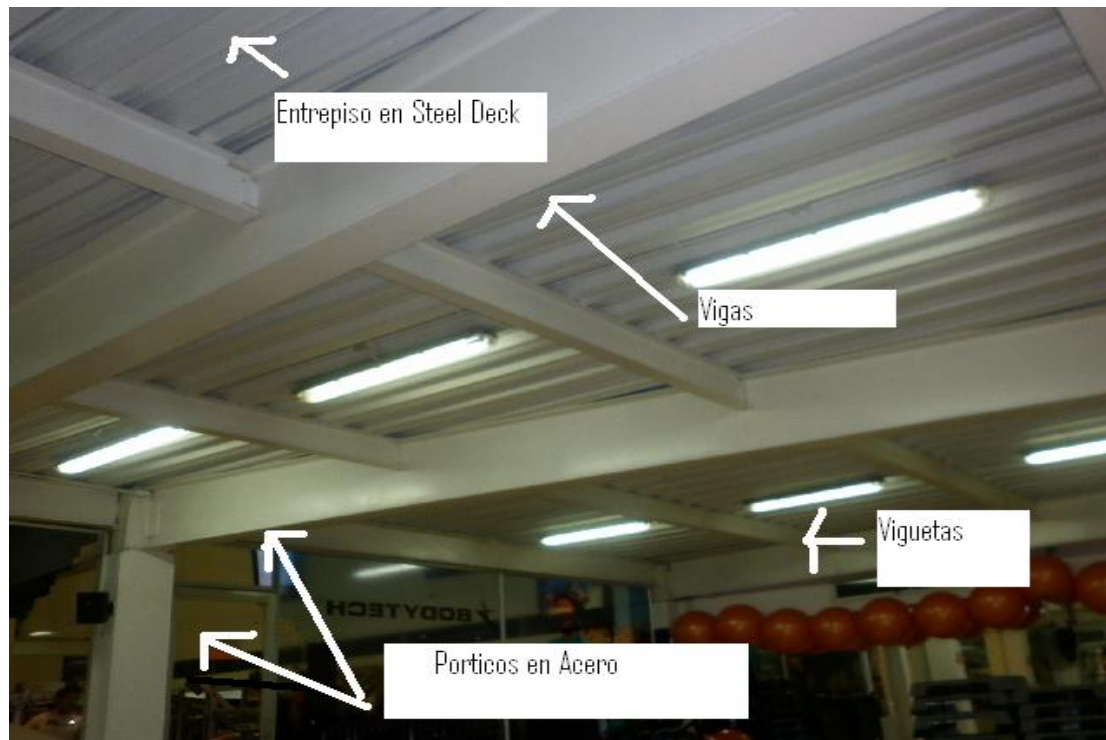


Foto 1.3 Fotografía del los res

El área que aparece en el recuadro hace referencia a la zona en particular sobre la cual se hicieron las mediciones y a su vez la única zona del gimnasio que se va a modelar en el presente trabajo, en la figura 2.6 se muestra el detallado del entrecimso de dicha sede.

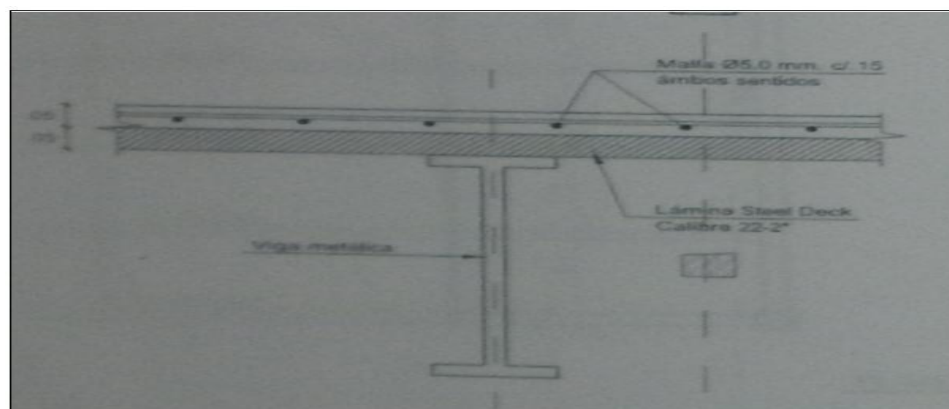


Figura 2.6 Fotografía planos Gimnasio Cabrera, detalle de entrecimso

Se observa en la figura 2.6, que el entrecimso que se representa no posee el detalle del steel deck con su respectivo acanalamiento, el cual juega un papel

importante en este estudio puesto que en éste espacio se deposita un volumen importante de concreto, el cual representa la masa que aporta al los modos de vibración.

El detalle del steel deck se obtuvo con mediciones in situ la cual se representa a continuación:

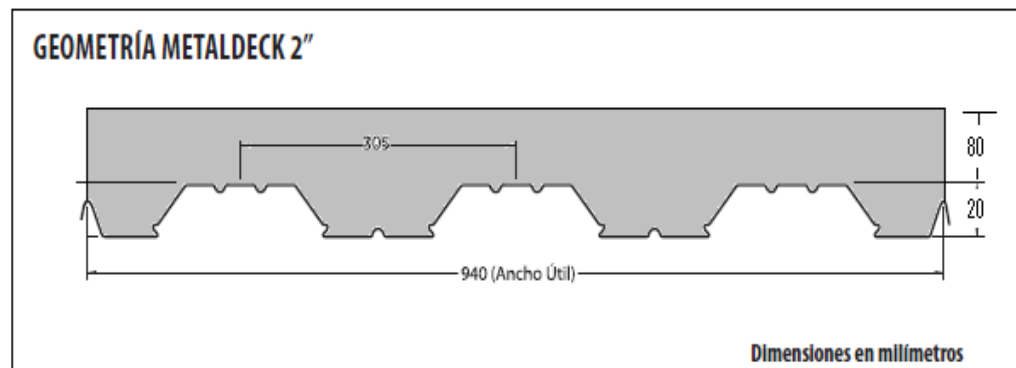


Figura 2.7 Esquema de entrepiso de Gimnasio Cabrera

Las dimensiones tipo de las vigas y viguetas como se pueden observar en las figuras 2.8 y 2.9, la longitud entre las viguetas se puede apreciar en el el capítulo de Modelo Numérico, en lo relacionado al modelo Cabrera.

El diseño de los conectores a cortante no se tuvo dentro del detallado estructural, dichos diseños no son de relevancia para el modelo numérico de este trabajo de grado.

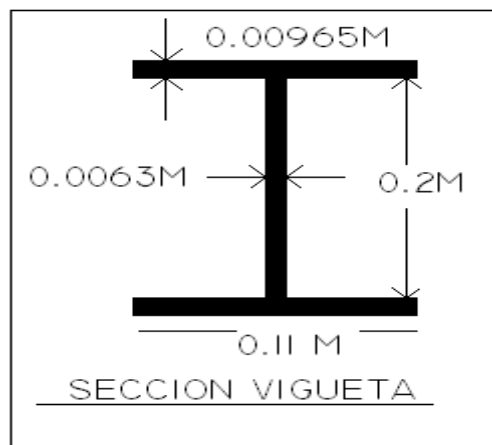


Figura 2.8 Sección transversal vigueta Cabrera

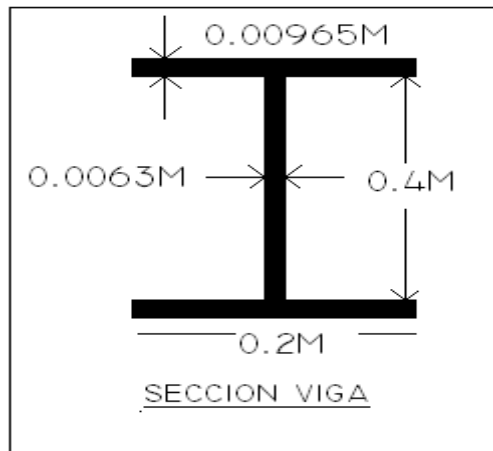


Figura 2.9 Sección transversal viga Cabrera

3.3 Discoteca La Corbata

Para efecto de hacer los registros en una discoteca en la ciudad de Bogotá se contó con la discoteca bar, la Corbata foto 1.4:



Foto 1.4 La Corbata Tomado de www.facebook.com

Como se mencionó anteriormente en el inicio de este capítulo, para la discoteca no permitieron la publicación de ningún documento sobre su tipología estructural, para esto se realizó una visita con el propietario.

Conforme al levantamiento in situ, la siguiente figura corresponde a su plano arquitectónico figura 2.10:

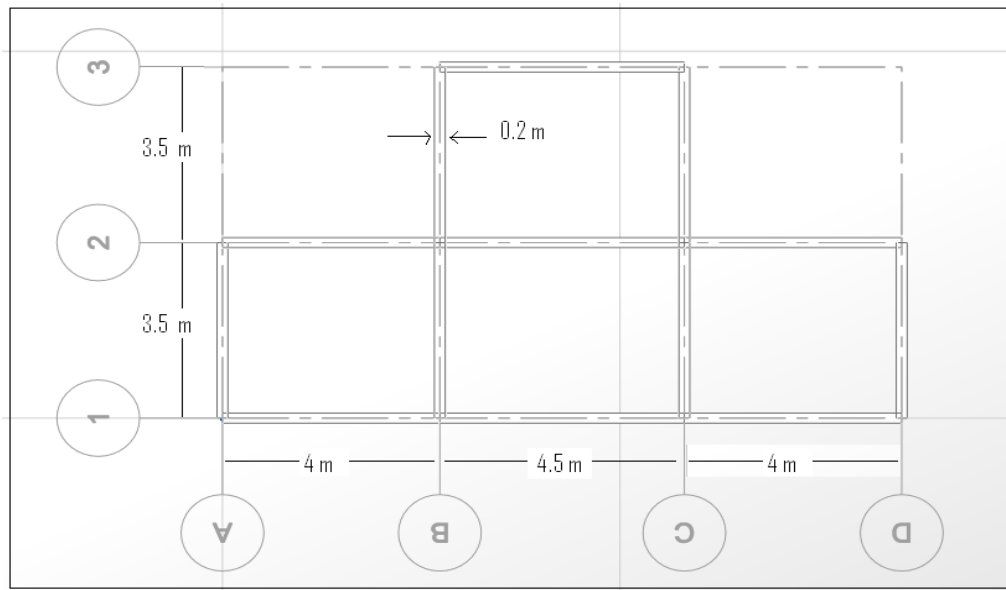


Figura 2.10 Plano Discoteca Corbata

La discoteca la Corbata, posee una tipología de pórticos en concreto reforzado y un entrepiso de una losa maciza en concreto de 20 cm de espesor.

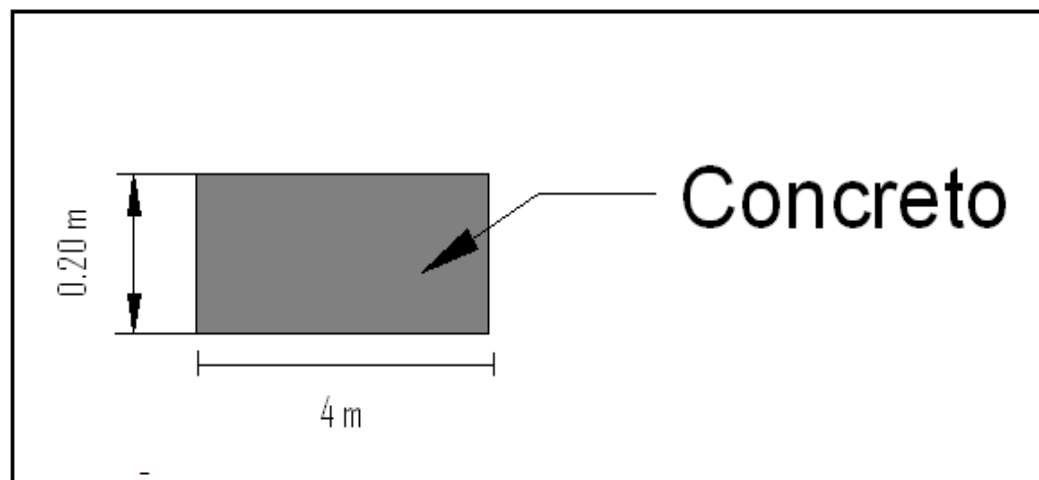


Figura 2.11 Vista lateral del Entrepiso Corbata

Las dimensiones tipo de las vigas se presenta en la figura 2.12:

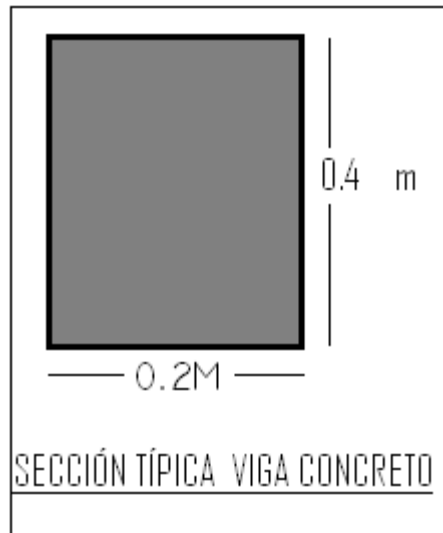


Figura 2.12 Sección transversal viga tipo Corbata

El peralte de la viga no contempla sección de entrepiso de la losa maciza de concreto.

4. Mediciones

Para la toma de los datos necesarios para la elaboración de este trabajo, se utilizaron dos frentes de trabajo, por un lado se tuvieron dos gimnasios y por otro lado una discoteca.

En el anteproyecto de grado se plantaron dos formas para tomar los registros: una por debajo de la placa y otra por encima de la placa como se representa en la figura 3.1

Para las discotecas como para los gimnasios se tomaron lecturas por encima de la placa, es importante aclarar que las dos formas que toman las lecturas poseen las mismas condiciones de calidad de registro. Su determinación fue únicamente por la practicidad, dado que la otra instrumentalización se tenía dos opciones, la primera forma era invasiva con un perno por debajo de placa o usando una resina epóxica

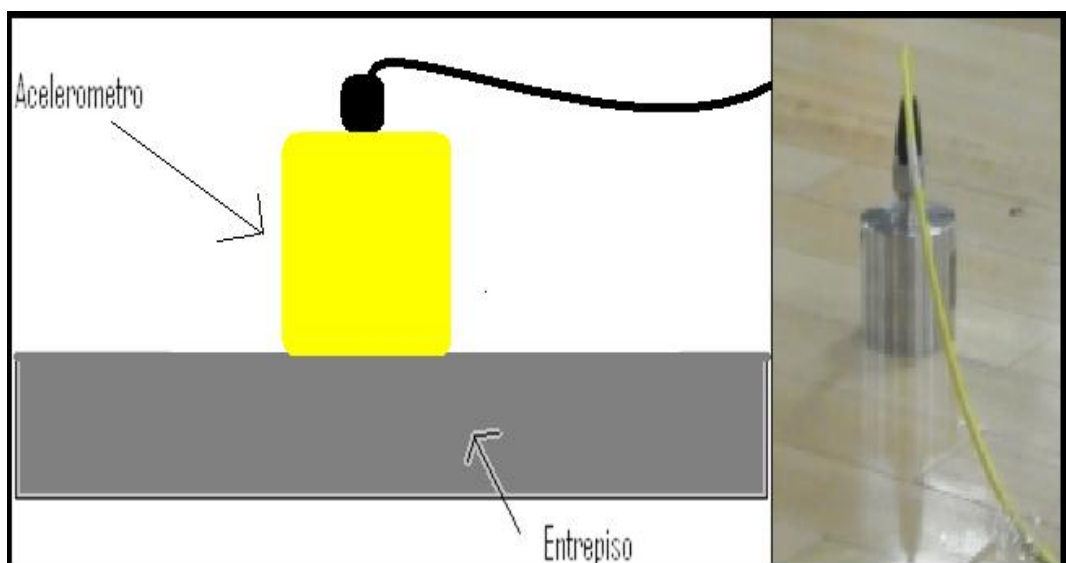


Figura 3.1 Montaje típico de acelerómetro sobre placa

Los equipos utilizados fueron un computador portátil marca HP mini, y los acelerómetros marca Wilcoxson.

En los gimnasios se realizaron las mediciones en la clase de rumba puesto que por la experiencia de los gerentes de las sedes se sabe que son las clases en las cuales se perciben más vibraciones.

En dicha clase las actividades rítmicas se basaron especialmente en coreográficas, y en baile free style, con ritmos de reggetón y salsa.

En la discoteca las actividades rítmicas fueron personas bailando, personas saltando y personas caminando.

El criterio de selección de ubicación del los acelerómetros en cada uno de los puntos de lectura se basó en la información del sistema estructural, donde se tenían 4 tipos de zonas de interés:

En estructura de Acero

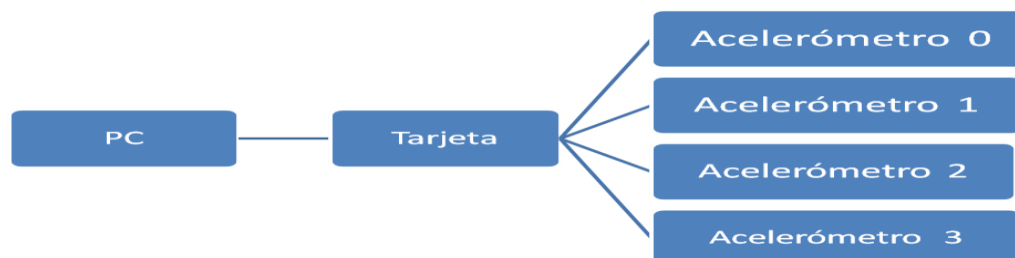
- 1) En el centro de luz entre apoyos del steel deck
- 2) Al lado de una columna.
- 3) Sobre una viga.
- 4) Sobre una vigueta.

En estructura de Concreto

- 1) En el centro de la losa de concreto
- 2) Al lado de una columna.
- 3) Sobre una vigueta.

La metodología de lectura siguió los siguientes pasos:

- Reconocimiento del lugar
- Verificación con la información de los planos arquitectónicos
- Coordinación con los responsables de los lugares para no interferir con las actividades normales de operación de los sitios.
- Buscar una toma de corriente
- Toma de decisiones ubicación de los acelerómetros
- Fijación de los cables de los acelerómetros con cinta de enmascarar



4.1 Gimnasios

Para la interpretación el fenómeno de vibraciones en gimnasios se contó con la colaboración de los gimnasios Bodytech en la ciudad de Bogotá quienes pusieron a su disposición todas las sedes que tiene en la ciudad para realizar este trabajo de grado.

Puesto que en los objetivos planteados en el anteproyecto se contemplaron únicamente 3 establecimientos entre discotecas y gimnasios, dentro de todas las sucursales de Bodytech solo se tomaron 2 sedes.

El criterio de selección de dichos puntos estuvo orientado en función a las clases donde se presentaban los mayores índices de vibración desde el punto de vista de los gerentes de las sedes.

Dada una entrevista con el gerente regional general de Bodytech el señor Juan Carlos Cujar, se decidió que las sedes más relevantes para dicho estudio eran la sede Chicó y la sede Cabrera

El montaje típico en cada una de las sedes se representa en la foto 1.5

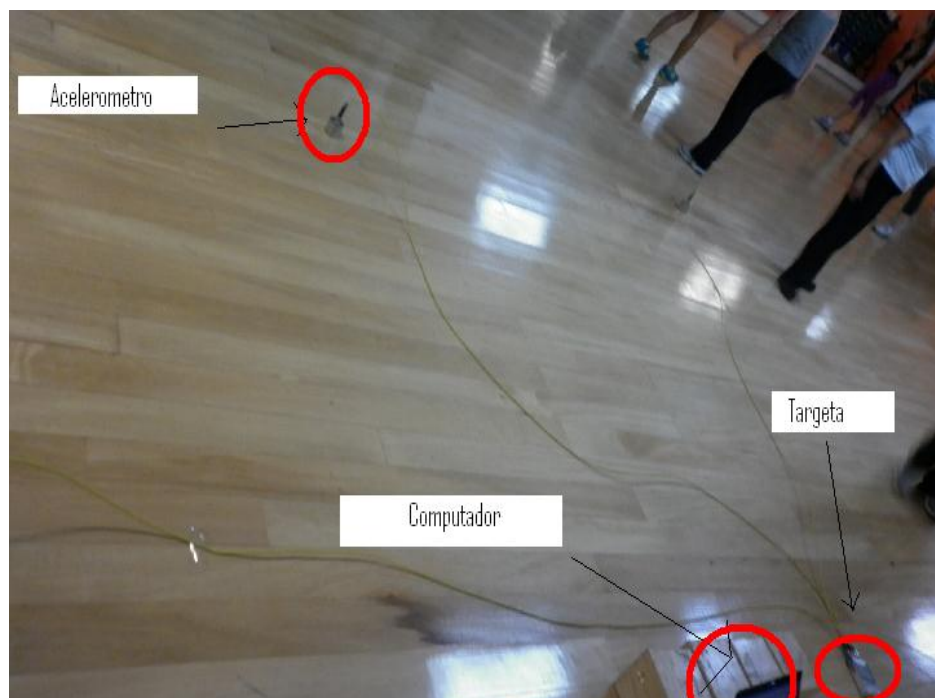


Foto 1.5 Montaje Típico tomada en montaje de medición Cabrera

4.1.1 Sede Chicó “ Chicó”

Sede Chicó: Lunes a las 7:30 pm- Clase de Rumba

Dirección: AV. 19 No 102-31

Bajo la supervisión del Gerente de la sede

El señor: Carlos Alberto Pinzón Poveda

En dicha sede se tomaron los registros con los acelerómetros ubicados en las siguientes posiciones como se observa en la foto 1.6:

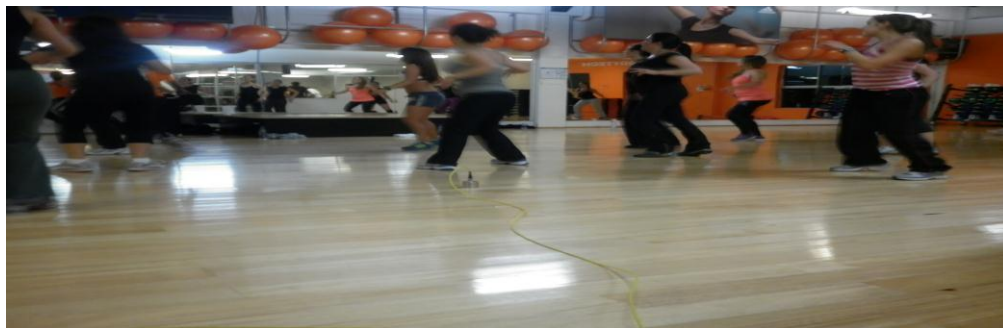


Foto 1.5 Lectura Chicó

La ubicaciones de los acelerómetros en la sede de Chicó tuvo la siguiente configuración; ésta fue determinada para que pudieran tener lecturas en las zonas de interés mencionadas en la página 25. Los equipos se colocaron entre los ejes C - E y los ejes 0 y 2 como lo muestra la figura 3.2.

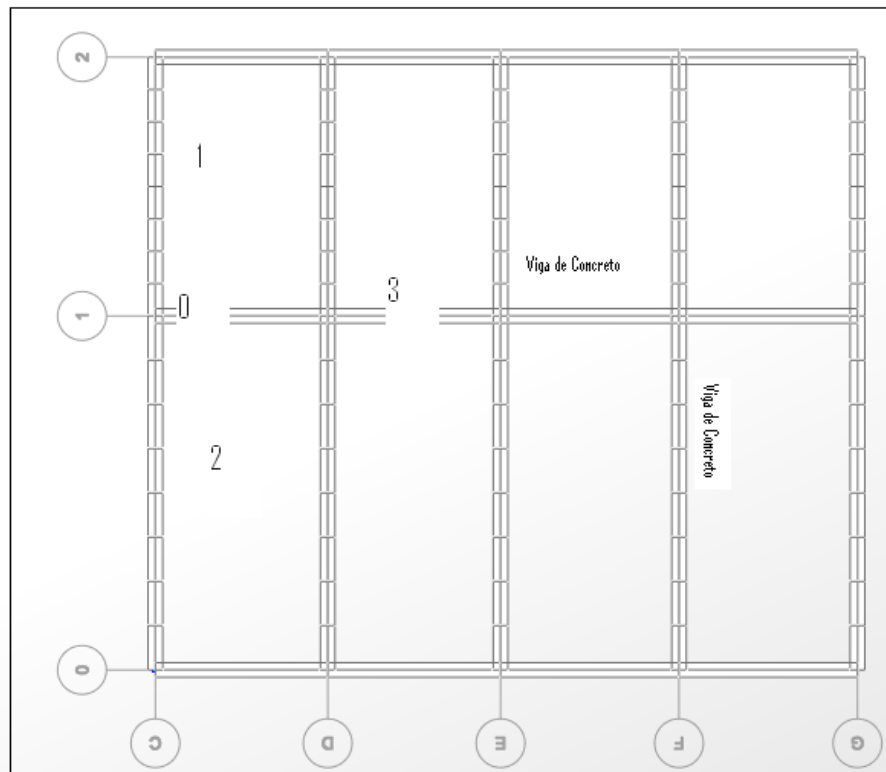


Figura 3.2 Ubicación de acelerómetros Chicó

La dirección del Steel deck es en el sentido paralelo a los ejes 0-2

4.1.2 Sede la Cabrera “Cabrera”

Sede Cabrera: Martes a las 8:00 pm – Clase de Rumba

Dirección: Calle 85 No 7-13

Bajo la supervisión del Gerente de la sede

La señora: Claudia Vanegas Torres

En dicha sede se tomaron los registros con los acelerómetros ubicados en las siguientes posiciones como se aprecia en la foto 1.6:

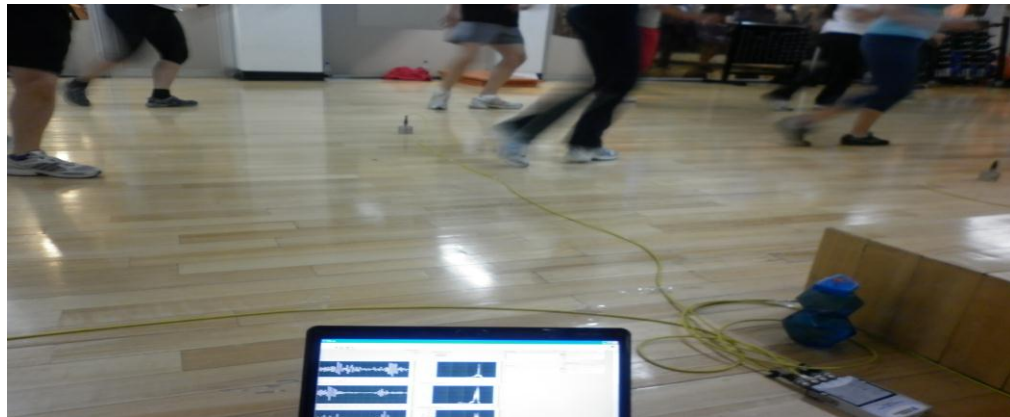


Foto 1.6 Lectura Cabrera

La ubicaciones de los acelerómetros en la sede de Cabrera tuvo la siguiente configuración esta fue determinada para que pudieran tener lecturas en las zonas de interés mencionadas en la pagina 25. Los equipos se colocaron entre los ejes A - C y los ejes 1 y 6 como lo muestra la figura 3.3



Figura 3.3 Ubicación de acelerómetros Cabrera

La dirección del steel deck es en sentido paralelo a los ejes a-d.

4.2 Discoteca “ Corbata”

La toma de datos de una discoteca se realizó en la ciudad de Bogotá en una discoteca llamada la Corbata ubicada en la zona rosa, uno de los puntos más reconocidos para bares y discotecas de la ciudad de Bogotá, el día jueves 20 de Octubre.

La Corbata

Dirección: Cra.12A No79-46
Bajo la supervisión de su propietaria
La señora: Martha Mosquera

En dicha ubicación se tomaron los registros con los acelerómetros ubicados en las posiciones de la foto 1.7:



Foto 1.7 Toma de Registros Corbata

La ubicaciones de los acelerómetros en la sede de Cabrera tuvo la siguiente configuración esta fue determinada para que pudieran tener lecturas en las zonas de interés mencionadas en la pagina 25. Los equipos se colocaron entre los ejes A - C y los ejes 1 y 6 como lo muestra la figura 3.4

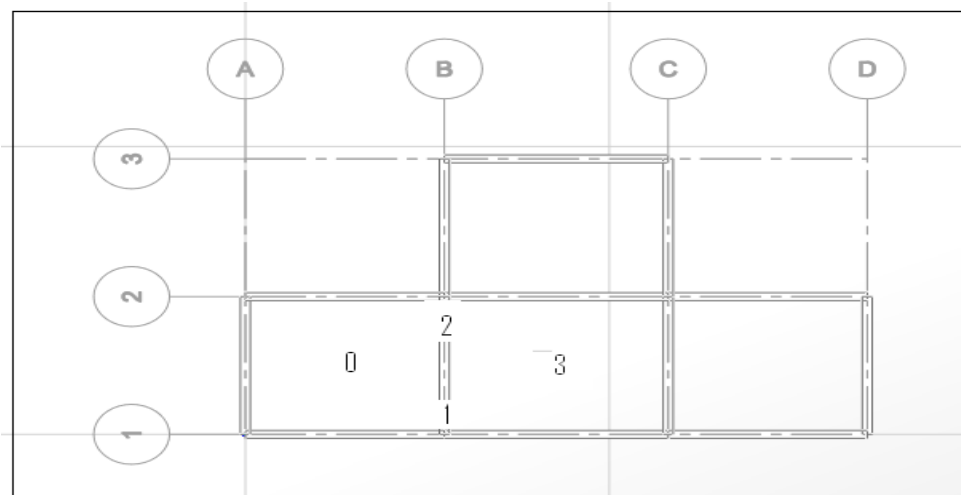


Figura 3.4 Ubicación de acelerómetros Cabrera

La losa de concreto es en una dirección, sentido paralelo a los ejes 1-3.

5. Modelación Numérica

Para la elaboración de los modelos, se utilizó el software SAP 2000 v 12, para esto fue necesario conocer los siguientes parámetros para cada locación:

El modulo del concreto se utilizó con el modelo

$$Modulo = 3900 * \sqrt{F'c}$$

Donde $F'c$ está en unidades de mega pascales.

A continuación se presenta el paso a paso de la metodología de elaboración de los modelos numéricos de las locaciones donde se efectuaron las mediciones:

5.1 Chicó

Como primera medida se definieron los ejes principales como se puede apreciar en la figura 4.1

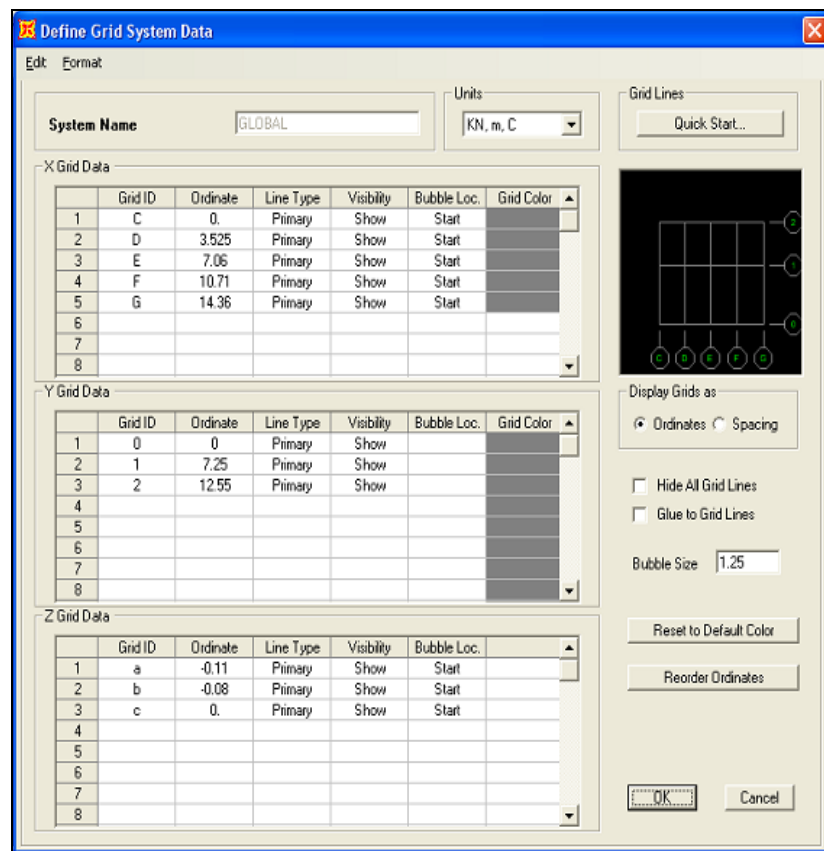


Figura 4.1 definición de ejes Principales Chicó

El segundo paso fue definir las características de los materiales y secciones como se aprecia en la figura 4.2

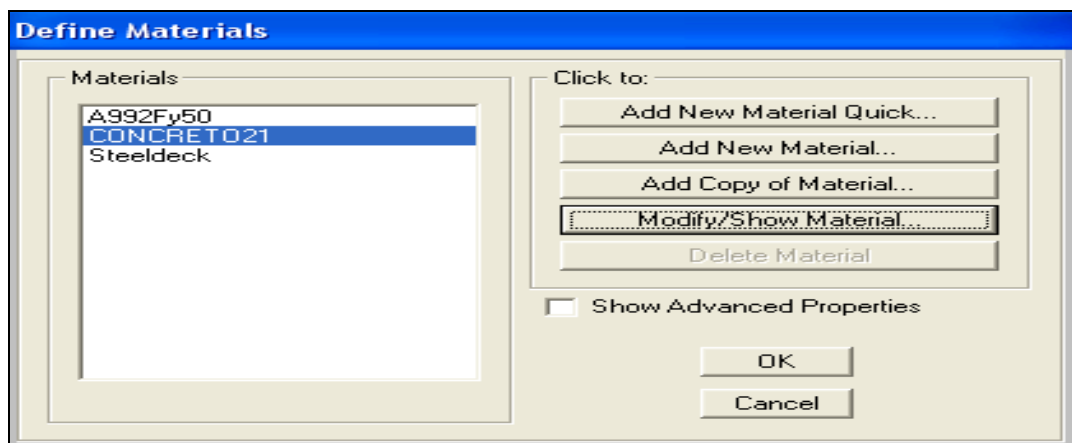
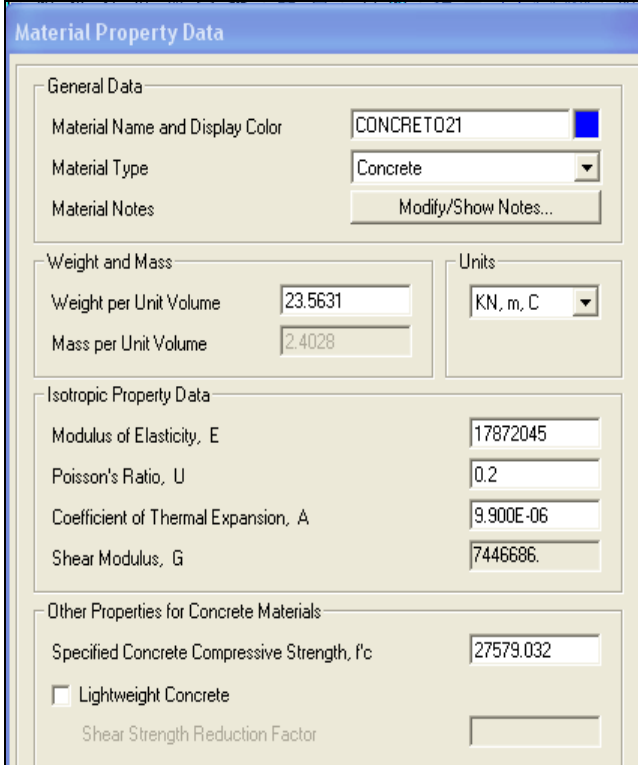


Figura 4.2 Definición de materiales

Para la definición del material concreto se uso el modulo que se tenía en la referencia de los planos de 21 Mpa como se puede observa en la figura 4.2



Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	CONCRETO21
Material Type	Concrete
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	23.5631
Mass per Unit Volume	2.4028
Units	KN, m, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	17872045
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	7446686
Other Properties for Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f'c	27579.032
<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	

Figura 4.2 definición del Material Concreto 21 Mpa

El steel deck de esta modelo según la referencia de los planos es de referencia 22, según la figura 4.3, tomada de la referencia 14 es un espesor de 0.754 mm.

Apendice 4

Grado 40		Metaldeck 2" (0.75mm)					
		100	110	120	130	140	150
Luz (m)		<i>Carga total sobrepuesta (Kgf/m²)</i>					
2,0		1006	1118	1209	1280	1331	1362
2,1		958	1065	1151	1219	1268	1297
2,2		915	1016	1099	1164	1210	1238
2,3		875	972	1051	1113	1157	1184
2,4		838	932	1008	1067	1109	1135
2,5		805	894	967	1024	1065	1090
2,6		765	860	930	985	1024	1048
2,7		696	817	896	948	986	1009
2,8		634	746	862	914	951	973
2,9		579	681	788	883	918	939
3,0		529	623	722	824	887	908
3,1			571	661	755	852	879
3,2			523	606	693	782	851
3,3			479	557	637	719	803
3,4				511	585	661	739
3,5				469	538	608	671
3,6				431	495	552	599
3,7					450	493	533
3,8							
3,9							
4,0							
		Luz máxima sin apuntalamiento (m)					
		2,01	1,92	1,84	1,77	1,71	1,66

Figura 4.3 Tomado de la referencia 14

Posteriormente se continuó en hacer la definición de las características del acero, las cuales se dejaron las mismas que posee el software por defecto como se indica en la figura 4.4

Material Property Data

General Data
Material Name and Display Color: Steeldeck
Material Type: Steel
Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
Weight per Unit Volume: 76.9729
Mass per Unit Volume: 7.849
Units: KN, m, C

Uniaxial Property Data
Modulus of Elasticity, E: 1.999E+08
Poisson's Ratio, U: 0
Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
Shear Modulus, G: 0

Other Properties for Steel Materials
Minimum Yield Stress, Fy: 248211.28
Minimum Tensile Stress, Fu: 399896
Effective Yield Stress, Fye: 372316.9
Effective Tensile Stress, Fue: 439885.6

Switch To Advanced Property Display
OK Cancel

Figura 4.4 definición del Material Acero

Definición de las secciones tipo viga como se muestra en la figura 4.5

Rectangular Section

Section Name: Viga
Section Notes: Modify/Show Notes...

Properties: Section Properties...
Property Modifiers: Set Modifiers...
Material: + CONCRETO21

Dimensions
Depth (t3): 0.45
Width (t2): 0.4

Display Color: [Green Square]

Concrete Reinforcement...
OK Cancel

Figura 4.5 Definición de Geometría de la viga tipo

Para la elaboración del elemento tipo Sólido del entrepiso, se realizó lo siguiente:

Dado que el entrepiso está constituido por una losa de concreto sobre un panel de steel deck, la elaboración de dicha geometría se elaboró en una sección transversal en elementos tipo Shell como lo señala la figura 4.6:

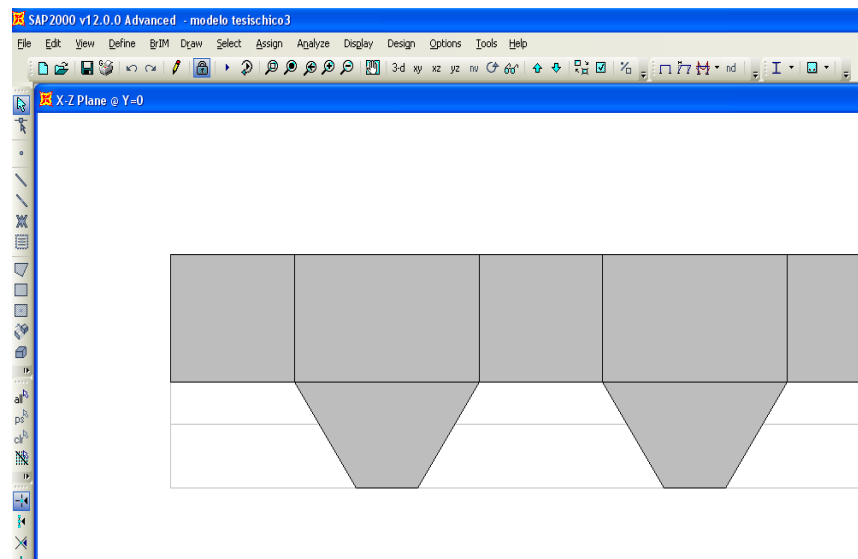


Figura 4.6 elaboración de sección transversal entrepiso como Shell

Las dimensiones para la elaboración de esta sección transversal véase la figura 4.1.

Replicar el área en sentido del eje y, teniendo en cuenta que todos los *joints* coincidan con las vigas para que haya continuidad en el modelo usando la función de replicar como lo muestra la figura 4.7

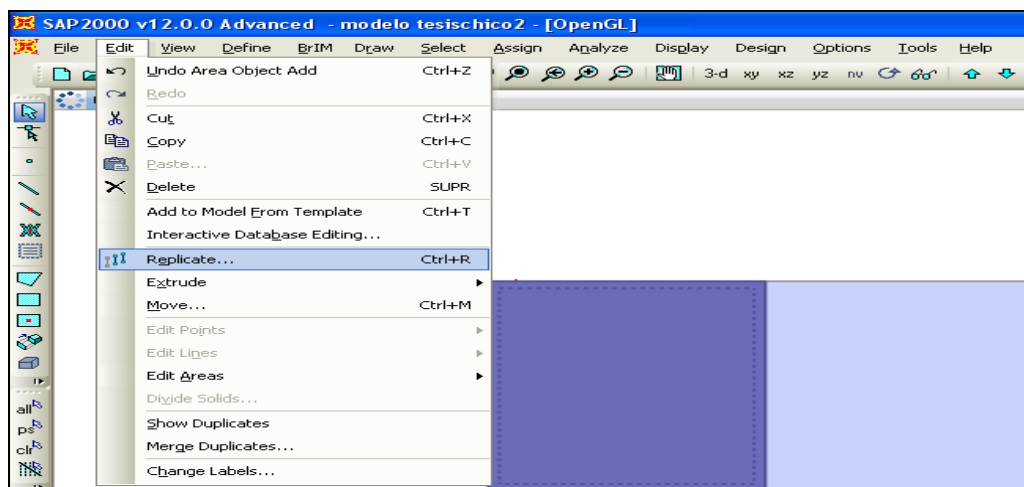


Figura 4.7 Crear la sección transversal del entrepiso.

Para efectos de que los elementos se repliquen de una forma simétrica se cálculo un $dx = 0.16m$ que se debe replicar 20 veces como lo muestra la figura 4.8, para tener los resultados de la figura 4.9.

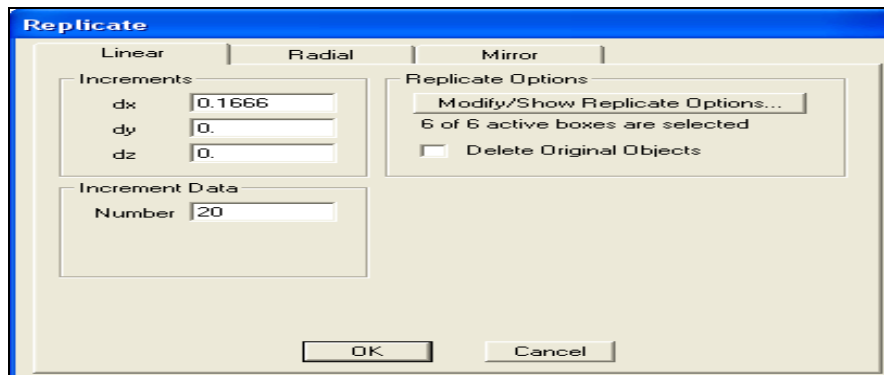


Figura 4.8 Función para replicar un elemento.

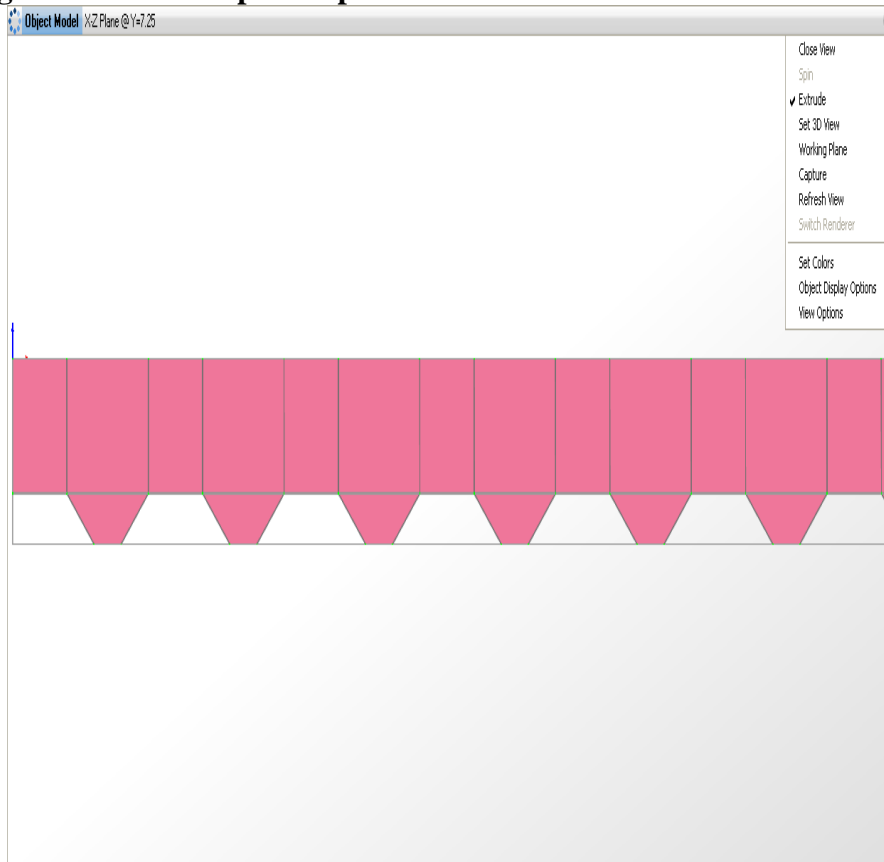


Figura 4.9 Resultado de la sección del entrepiso

Una vez formada la sección transversal se procedió a extruir dicha sección, la cual se extruyó una vez y se replicaron tantos elementos como fueron necesarios para que coincidieran con las vigas. Como se puede apreciar en la figura 4.10.

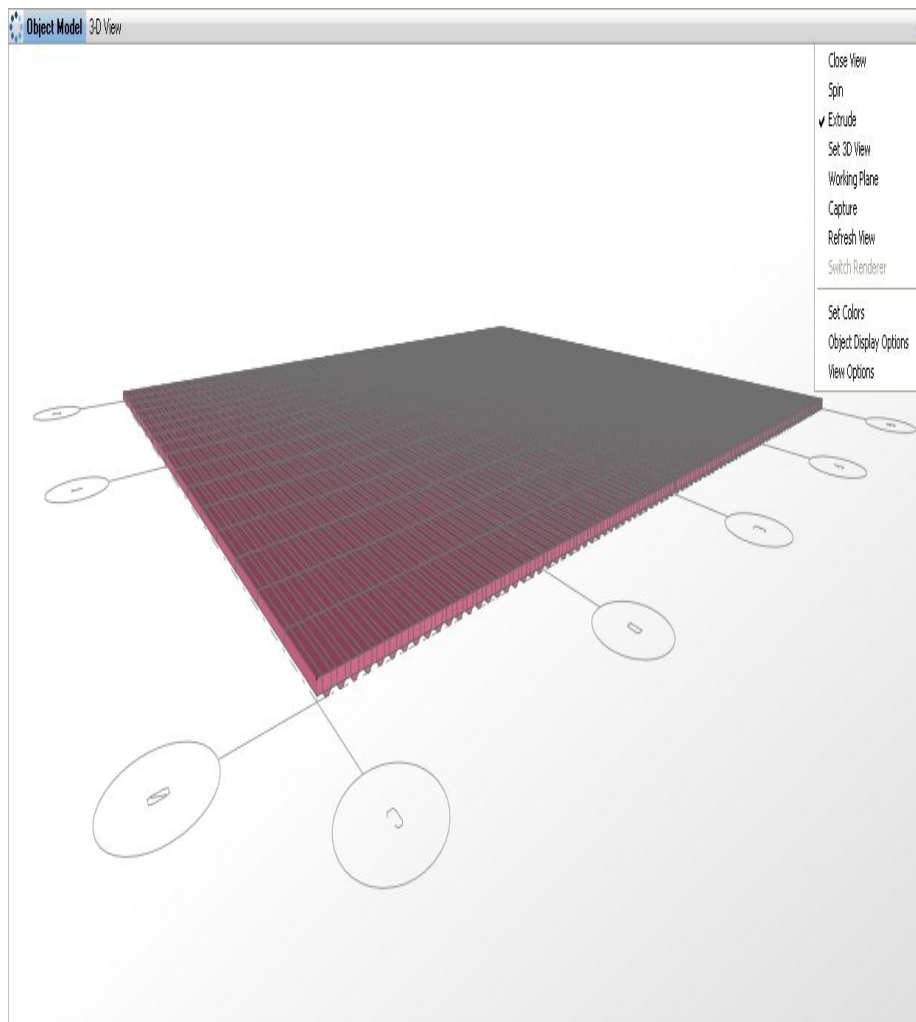


Figura 4.10 Sección Entrepiso solida.

Una vez extruida esta área se borraron los elementos de área. Los cuales sólo se usaron para la elaboración del elemento sólido; empero que no hacen parte del modelo.

Una vez elaborado el entrepiso como un elemento sólido se continuó a la elaboración del elemento tipo shell steel deck, para el cual sólo se puede generar desde la vista de 3D.

Para ello se orientó el modelo en una vista 3D donde se pueda analizar la continuidad de joints como lo muestra la figura 5.1

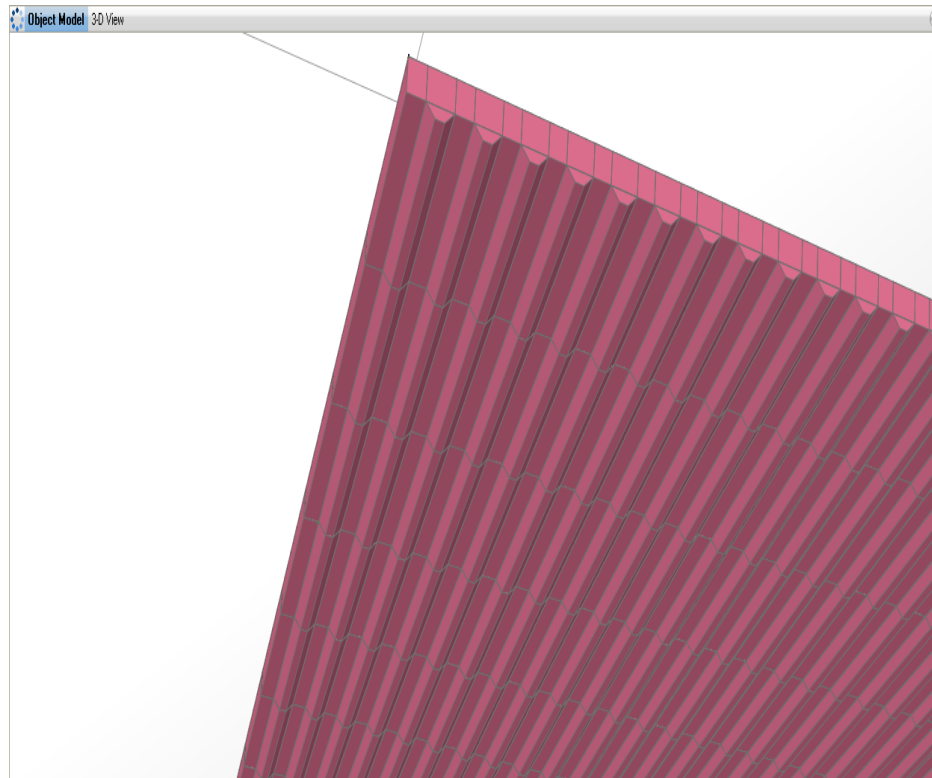


Figura 5.1 Vista 3 con énfasis en el acanalamiento del entrepiso.

Se generaron elementos tipo Shell sobre toda la superficie inferior del elemento tipo sólido.

Una vez seleccionado una sección completa, esta se replicó en sentido x, con un $dx=0.166$, y se hizo lo mismo en sentido y con un dx definido con el mismo criterio de la elaboración de los elementos tipo sólido, para que todos los joints coincidan y exista una continuidad en el modelo. Como lo muestra la figura 5.2

Finalmente se asignaron los elementos tipo frame y sus respectivos apoyos. Los cuales estaban previamente definidos cuando se elaboraron los ejes, del modelo.

Las geometría del entrepiso, las vigas y el espesor del steel deck se tomaron conforme a los detallados estructurales presentados en el capítulo 3.

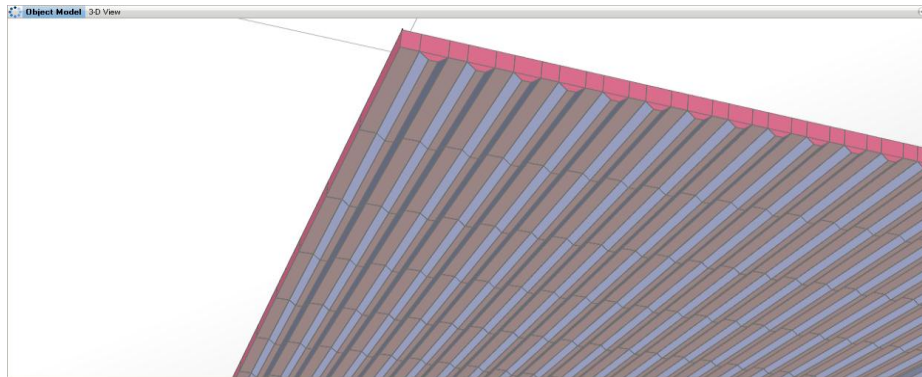


Figura 5.2 Vista del Steel Deck

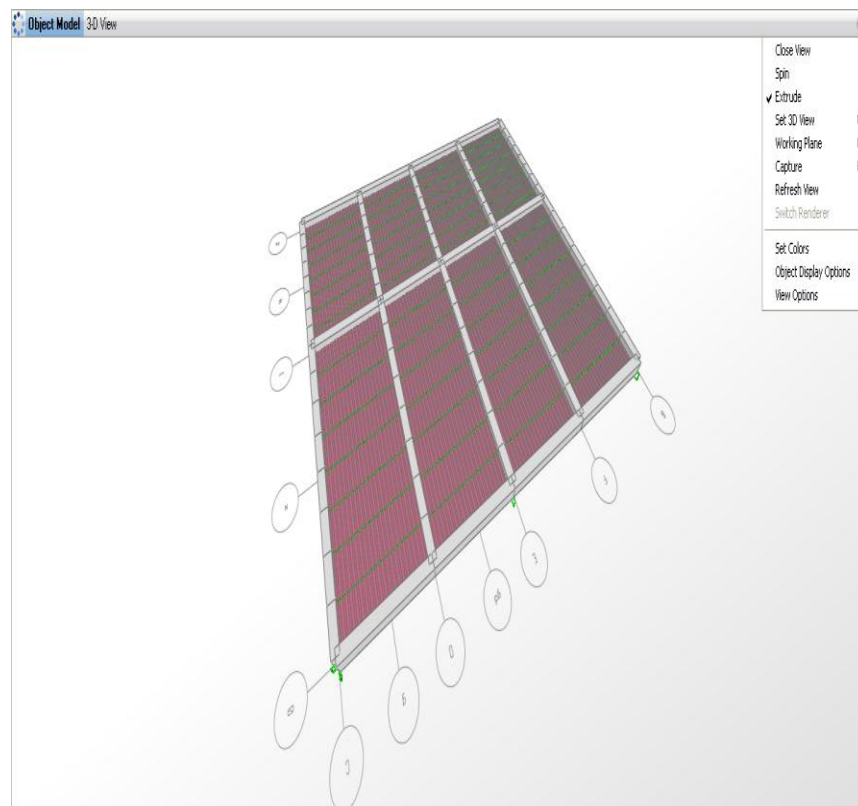


Figura 5.3 Vista del Modelo Chicó

5.1 Cabrera

Como primera medida se definieron los ejes principales como se observa en la figura 5.4

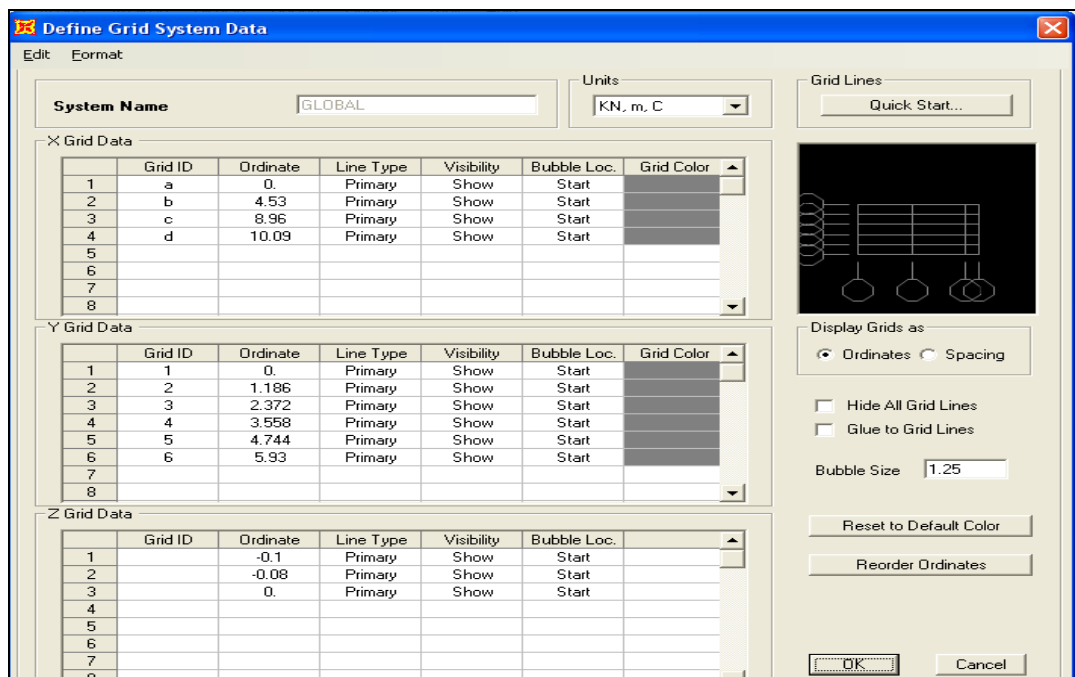


Figura 5.4 definición de ejes Principales Cabrera

El segundo paso fue definir las características de los materiales y secciones como se aprecia en la figura 5.5

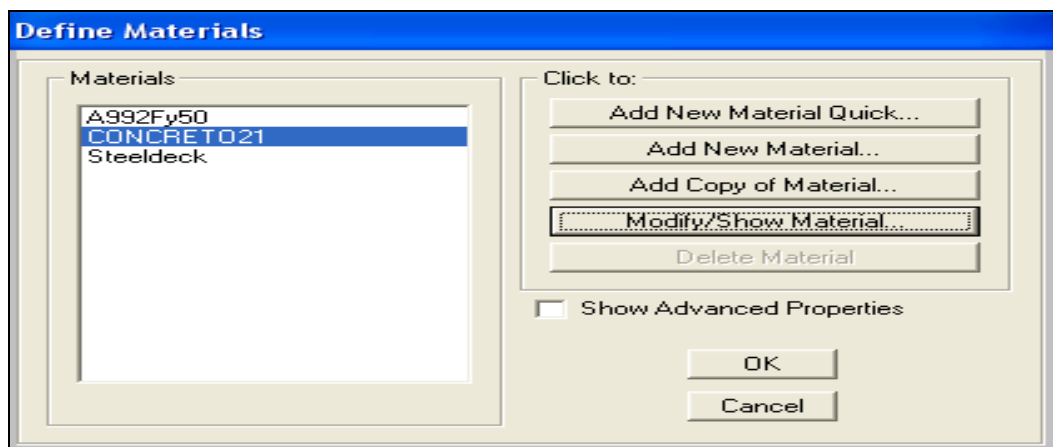
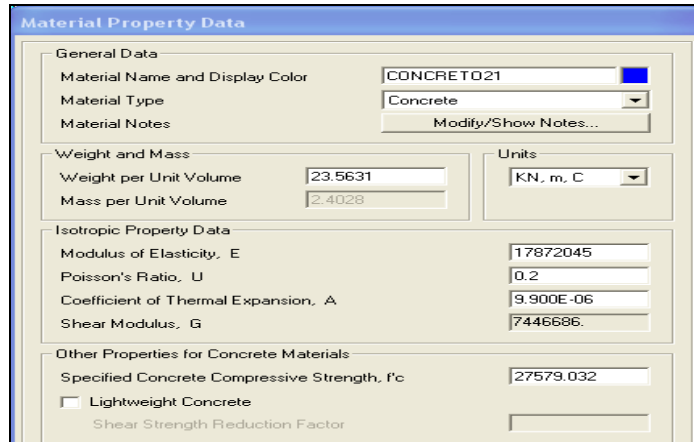


Figura 5.5 Definición de materiales

Para la definición del material concreto se usó el módulo que se tenía en la referencia de los planos de 21 Mpa como se ilustra en la figura 5.6



Material Property Data

General Data
 Material Name and Display Color: CONCRETO21
 Material Type: Concrete
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass
 Weight per Unit Volume: 23.5631
 Mass per Unit Volume: 2.4028
 Units: KN, m, C

Isotropic Property Data
 Modulus of Elasticity, E: 17872045
 Poisson's Ratio, U: 0.2
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 9.900E-06
 Shear Modulus, G: 7446686

Other Properties for Concrete Materials
 Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 27579.032
 Lightweight Concrete
 Shear Strength Reduction Factor:

Figura 5.6 definición del Material Concreto 21 Mpa

El steel deck de esta modelo según la referencia de los planos es de referencia 22, el cual según la figura 5.7 tomada de la referencia 14 es de un espesor 0.754 mm

Apendice 4

Grado 40						
Metaldeck 2" (0.75mm)						
Luz (m)	100	110	120	130	140	150
	<i>Carga total sobrepuesta (Kgf/m²)</i>					
2,0	1006	1118	1209	1280	1331	1362
2,1	958	1065	1151	1219	1268	1297
2,2	915	1016	1099	1164	1210	1238
2,3	875	972	1051	1113	1157	1184
2,4	838	932	1008	1067	1109	1135
2,5	805	894	967	1024	1065	1090
2,6	765	860	930	985	1024	1048
2,7	696	817	896	948	986	1009
2,8	634	746	862	914	951	973
2,9	579	681	788	883	918	939
3,0	529	623	722	824	887	908
3,1		571	661	755	852	879
3,2		523	606	693	782	851
3,3		479	557	637	719	803
3,4			511	585	661	739
3,5			469	538	608	671
3,6			431	495	552	599
3,7				450	493	533
3,8						
3,9						
4,0						
	<i>Luz máxima sin apuntalamiento (m)</i>					
	2,01	1,92	1,84	1,77	1,71	1,66

Figura 5.7 Tomado de la referencia 14

Posteriormente se prosiguió a hacer la definición de las características del acero, las cuales dejaron las mismas que posee el software por defecto como se indica en la figura 5.9

Section	Property	Value
General Data	Material Name and Display Color	Steeldeck
	Material Type	Steel
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	76.9729
	Mass per Unit Volume	7.849
Uniaxial Property Data	Modulus of Elasticity, E	1.999E+08
	Poisson's Ratio, U	0
	Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
	Shear Modulus, G	0
Other Properties for Steel Materials	Minimum Yield Stress, Fy	248211.28
	Minimum Tensile Stress, Fu	399896
	Effective Yield Stress, Fye	372316.9
	Effective Tensile Stress, Fue	439885.6

Figura 5.9 Definición de Material Acero

El detallado estructural indico que el sistema estructural son de dos diferentes tipos, vigas figura 5.10 y viguetas Figura 5.11.

Property	Value
Section Name	VIGA
Outside height (t3)	0.4
Top flange width (t2)	0.2
Top flange thickness (tf)	9.652E-03
Web thickness (tw)	6.350E-03
Bottom flange width (t2b)	0.2
Bottom flange thickness (tfb)	9.652E-03
Material	STEELDECK

Figura 5.10 Elementos tipo viga

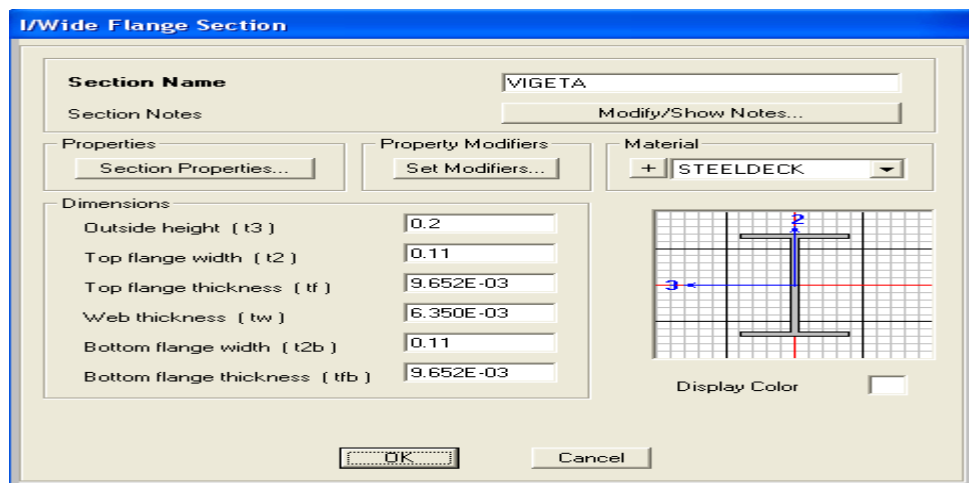


Figura 5.10 Elementos tipo vigueta

Para la elaboración del elemento tipo Solido del entrepiso, se realizó lo siguiente:

Dado que el entrepiso está constituido en una losa de concreto sobre un panel de steel deck, para la elaboración de dicha geometría, se elaboró una sección transversal en elementos tipo Shell como lo indica la figura 5.11:

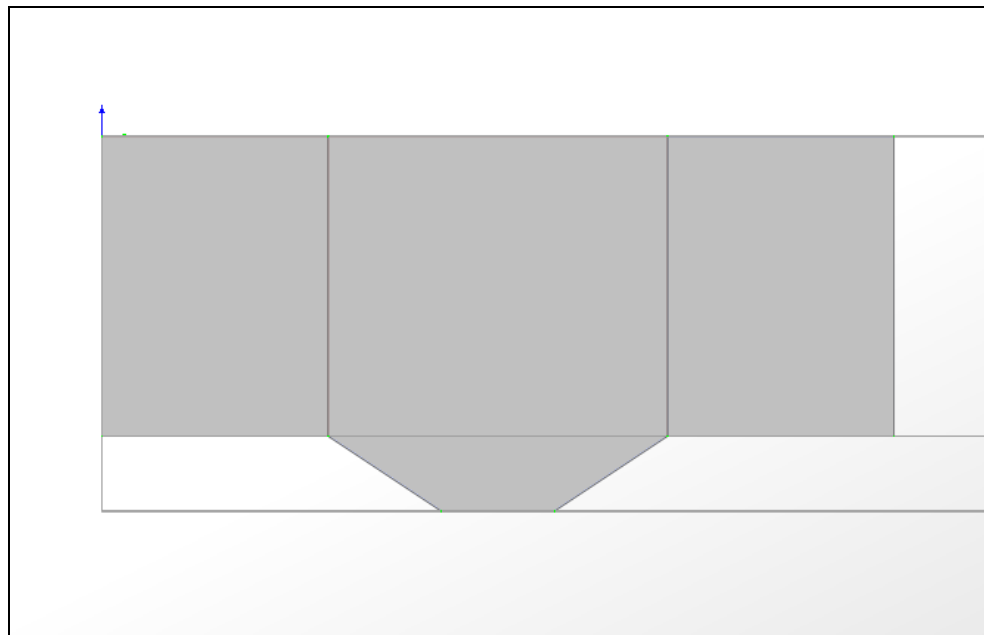


Figura 5.11 Elaboración de sección transversal concreto entrepiso solido

Para la geometría del steel deck ver figura 5.4.

Replicar el área en sentido del eje y, teniendo en cuenta que todos los *joints* coincidan con las vigas para que haya continuidad en el modelo, usando la función de replicar como lo muestra la figura 5.12

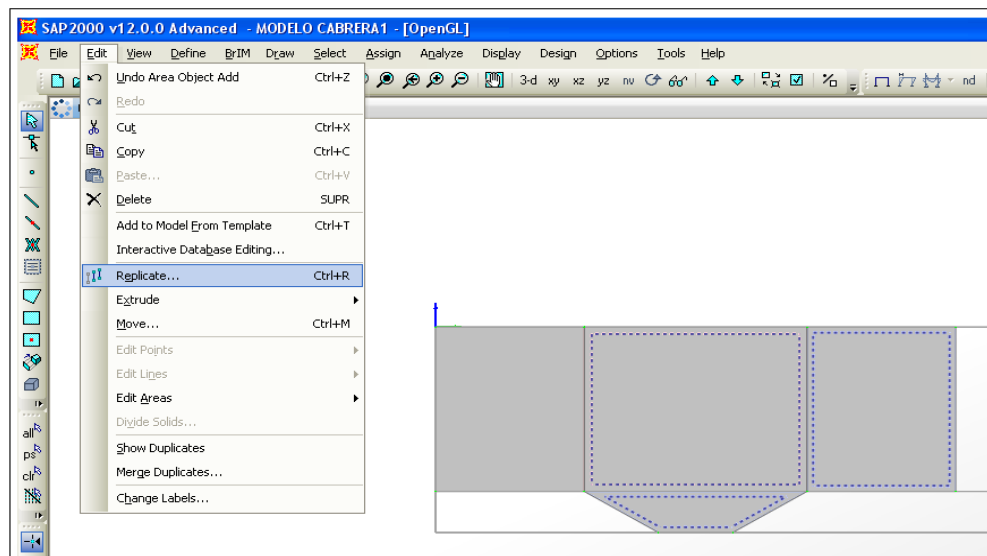


Figura 5.12 Crear la sección transversal del entrepiso.

Para efectos de que los elementos se repliquen de una forma simétrica se calculó un $dx = 0.16m$ que se debe replicar 20 veces como lo muestra la figura 5.13, para tener los resultados de la figura 5.14.

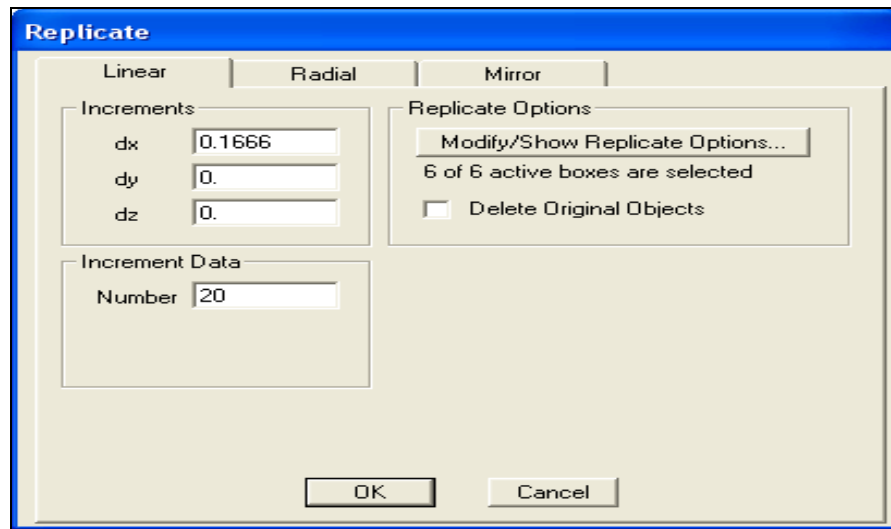


Figura 5.13 Función para replicar un elemento.

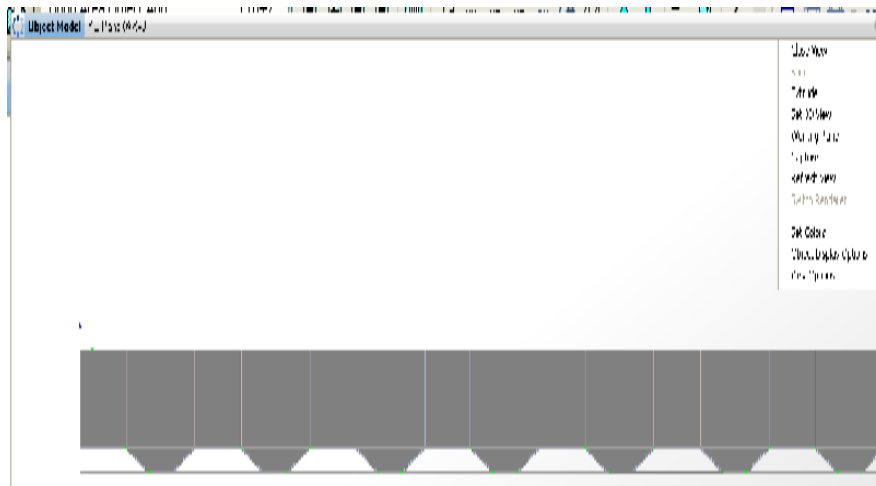


Figura 5.14 Resultado de la sección del entrepiso

Una vez formada la sección transversal se procedió a extruir dicha sección, la cual se extruyó 1 veces y se replicaron los tantos elementos como fueron necesarios para que coincidieran con las vigas. Como se puede apreciar en la figura 5.15

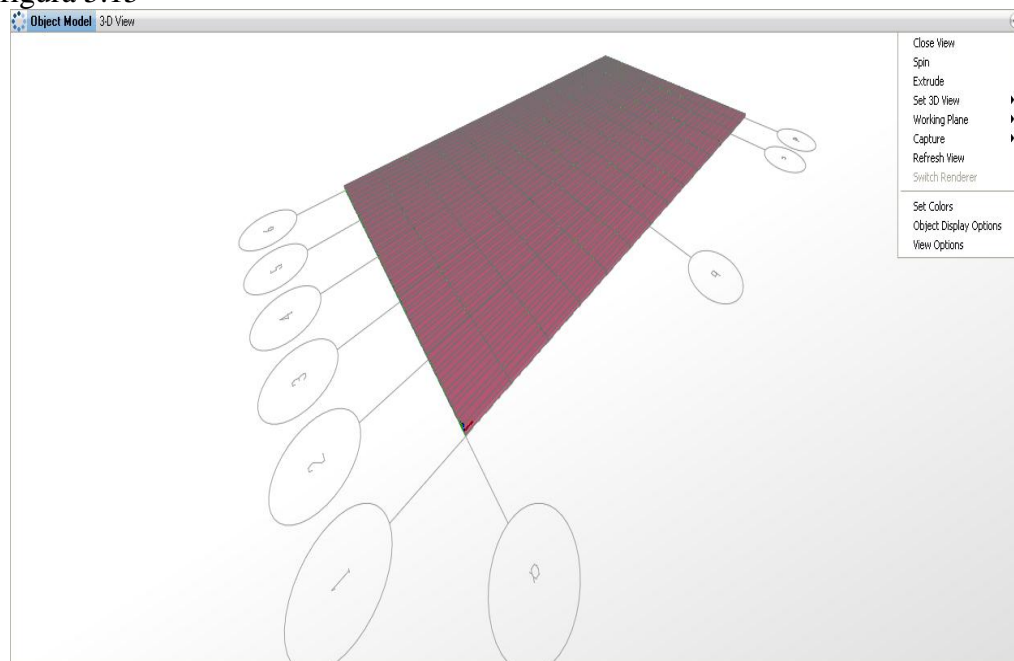


Figura 5.15 Sección Entrepiso solida.

Una vez extruida esta área se borra los elementos de área. Los cuales solo se usaron para la elaboración del elemento solido pero que no hacen parte del modelo.

Una vez elaborado el entrepiso como un elemento sólido se continuó a la elaboración del elemento tipo shell steel deck, para el cual sólo se puede generar desde la vista de 3D.

Para esto se tomó y se orientó el modelo en una vista 3D donde se pueda apreciar la continuidad de joints como lo muestra la figura 5.16

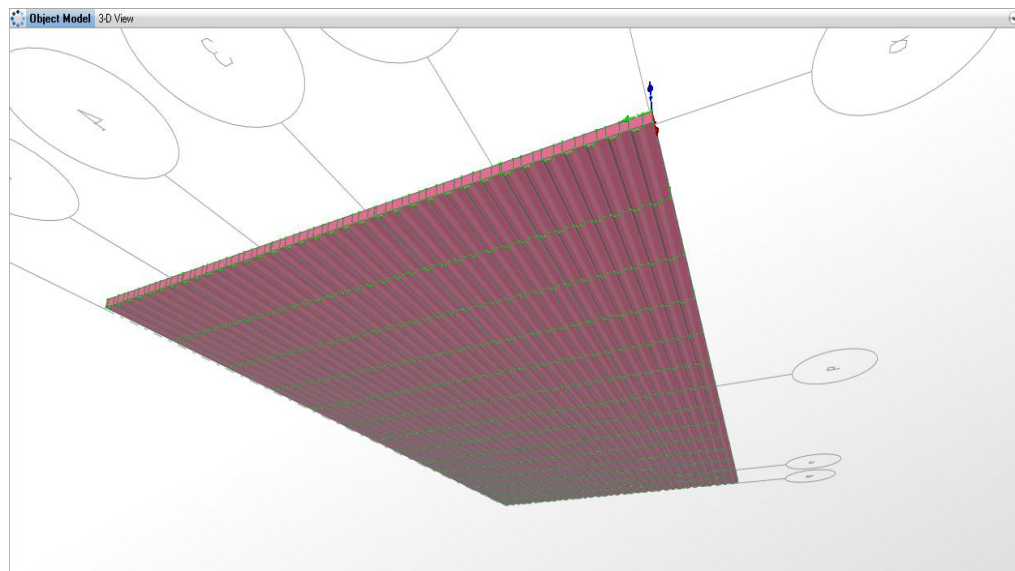


Figura 5.16 Vista 3 con énfasis en el acanalamiento del entrepiso.

Se generaron elementos tipo Shell sobre toda la superficie inferior del elemento tipo sólido.

Una vez seleccionado una sección completa esta se replicó en sentido x, con un $dx=0.166$, y se hizo lo mismo en sentido y con un dx definido con el mismo criterio de la elaboración de los elementos tipo sólido, para que todos los *joints* coincidan y exista una continuidad en el modelo. Como lo muestra la figura 5.2

Finalmente se asignaron los elementos tipo *frame* y sus respectivos apoyos. Los cuales estaban previamente definidos cuando se elaboraron los ejes, del modelo.

La geometría del entrepiso, las vigas y el espesor del steel deck se tomaron conforme a los detallados estructurales presentados en el capítulo 3.

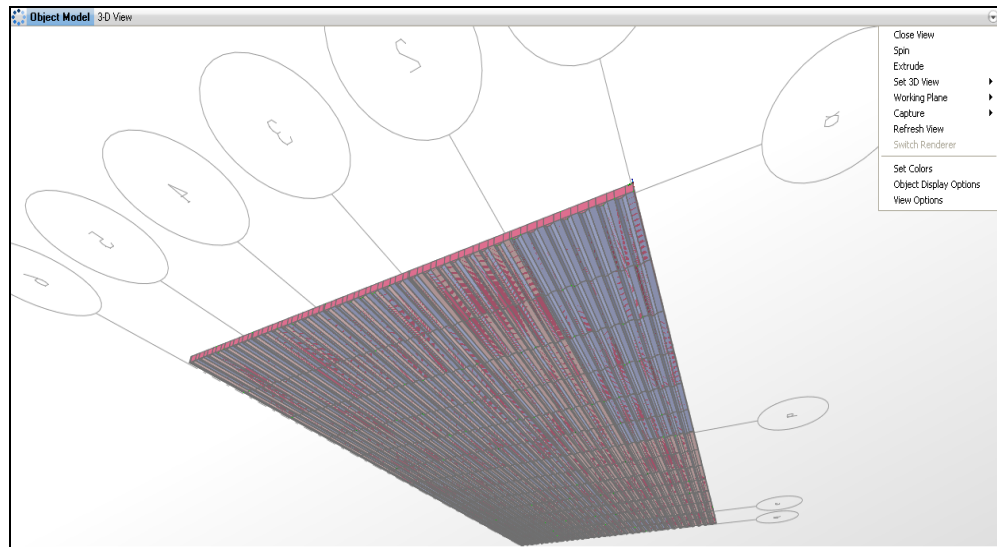


Figura 5.17 Vista del Steel Deck

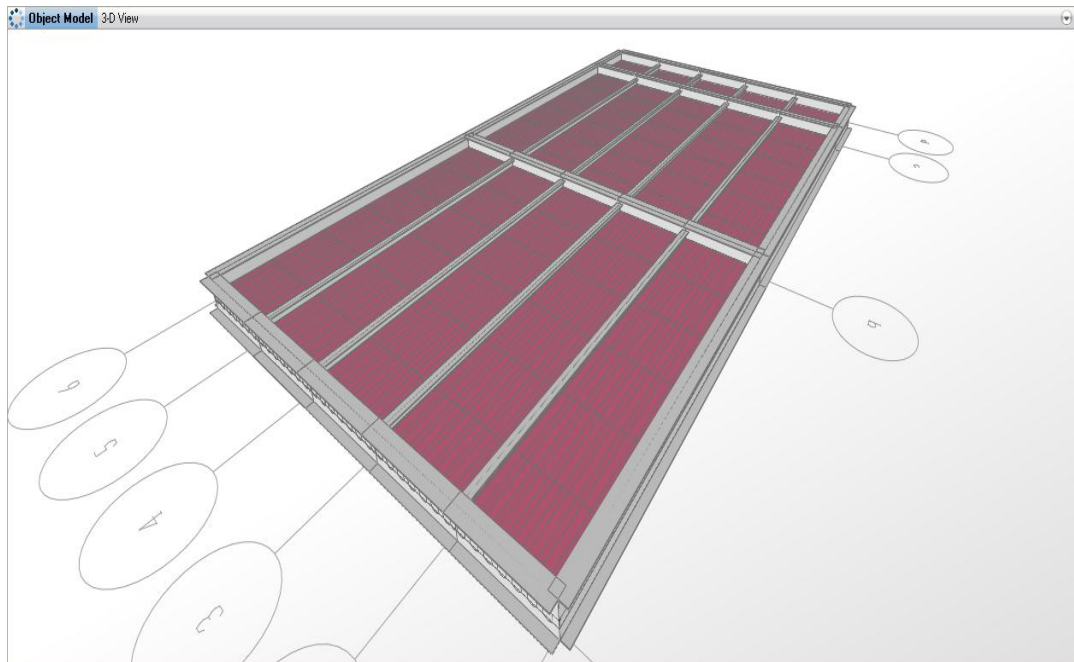


Figura 5.18 Vista del Modelo Cabrera

5.2 Corbata

Como primera medida se definieron los ejes principales como se puede apreciar en la figura 5.19

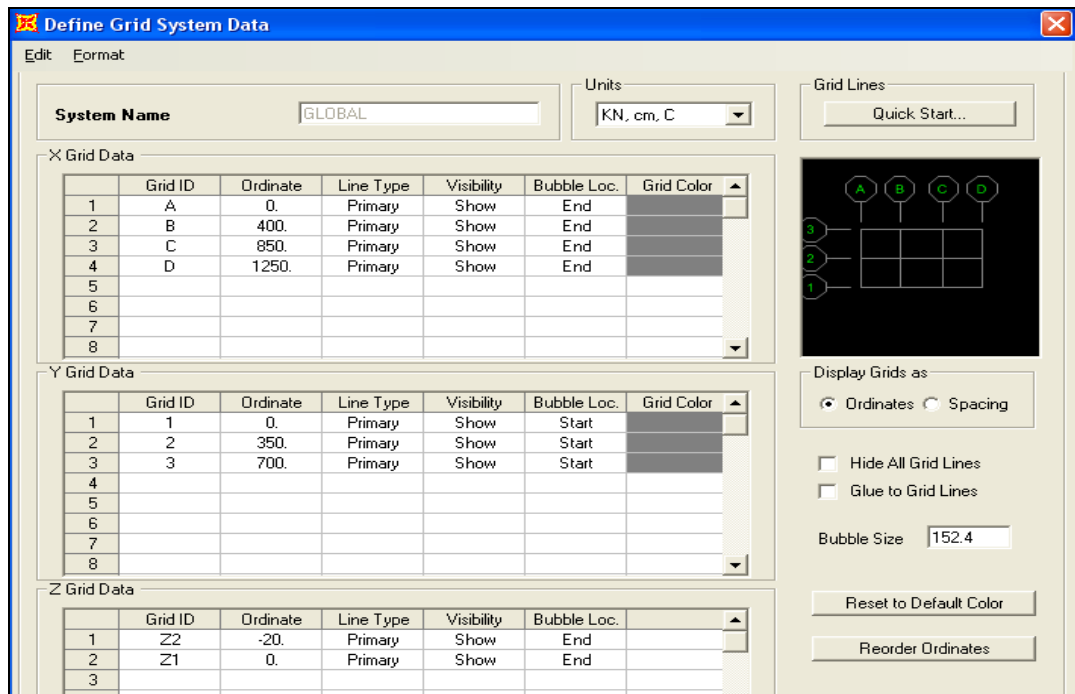


Figura 5.19 Definición de ejes Modelo Corbata

Definición de materiales y secciones

El segundo paso fue definir las características de los materiales y secciones como se aprecia en la figura 5.20

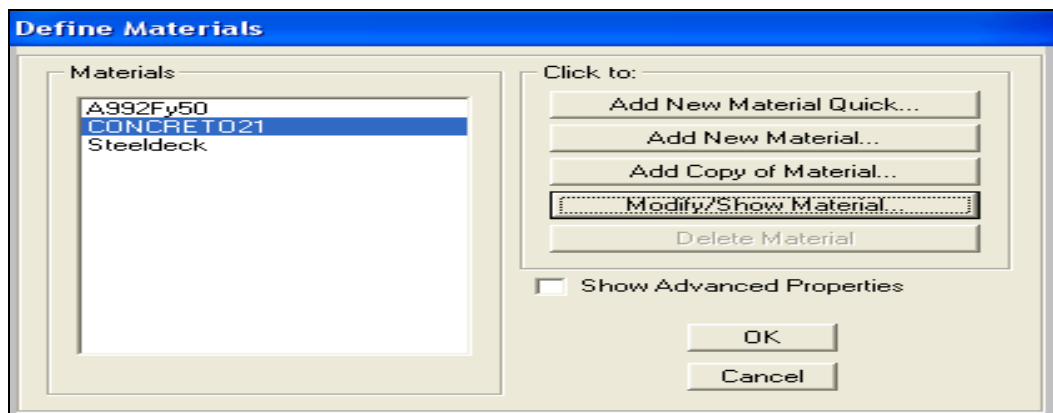


Figura 5.20 Definición el Material Concreto y del Material Acero

Para la definición del material del acero se tomó el módulo de 21 MPa
Como se muestra en la figura 5.21

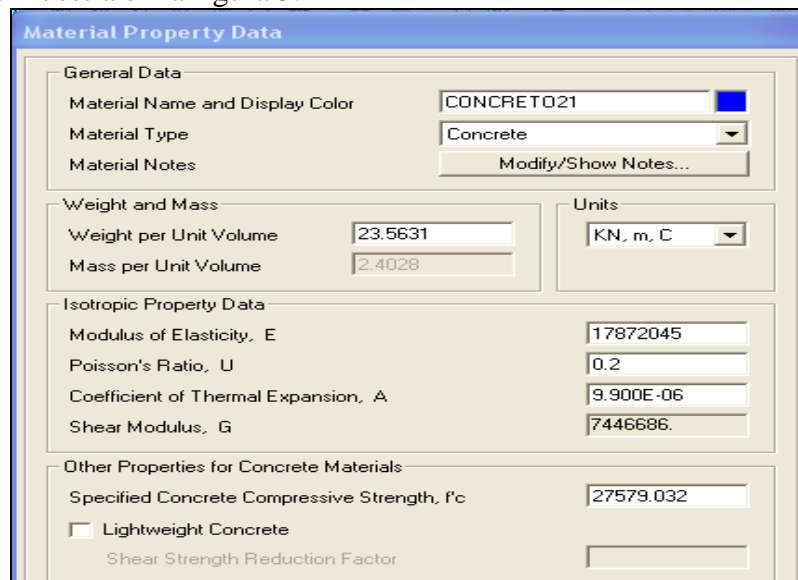


Figura 5.21 Modulo de 21 Mpa

Las dimensiones de las vigas se tomaron de acuerdo al levantamiento in situ, presentado en el capítulo 3, las dimensiones de dichas vigas se introdujeron en el modelo como lo muestra la imagen 5.22

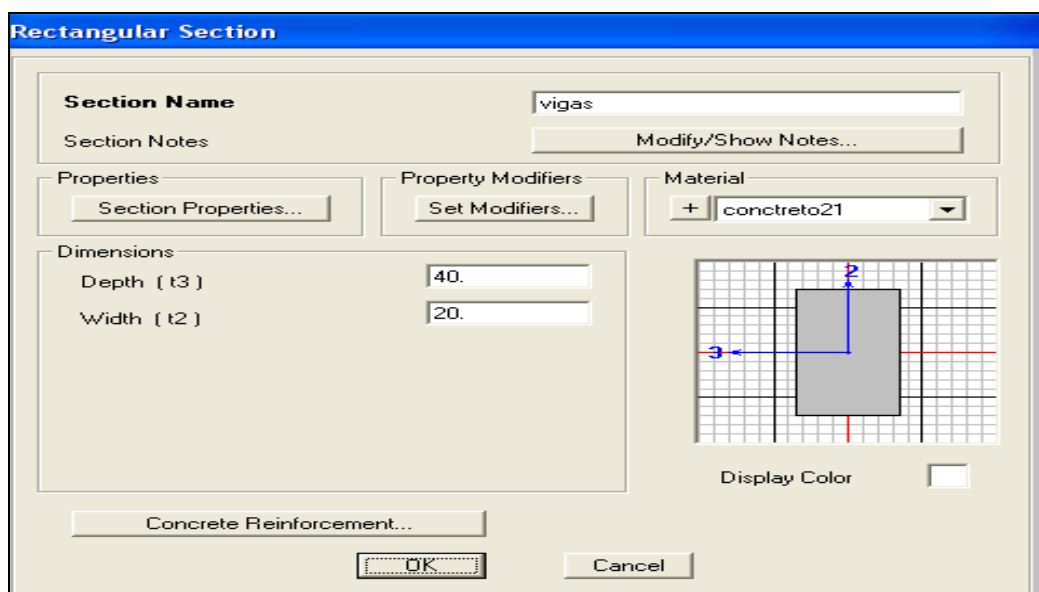


Figura 5.22 Dimensiones de la sección tipo viga modelo Cabrera

Para la elaboración de la loza maciza se utilizó el mismo procedimiento usado en los gimnasios, para esto se generó una sección transversal, como lo muestra la figura 5.23, para posteriormente replicarla y generar la sección transversal del entrepiso, como lo muestra la figura 5.25, para esto se utilizó la herramienta de replicar.

Con el fin de obtener elementos finitos, se dividieron las áreas como lo indica la figura 5.24.

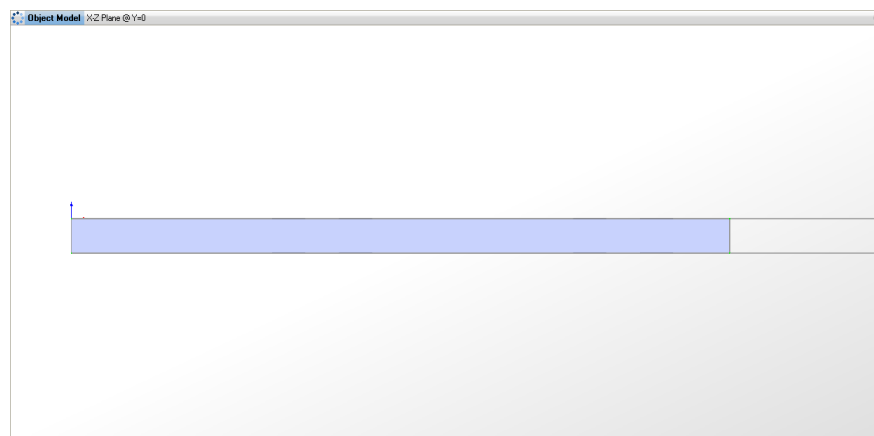


Figura 5.23 Sección Transversal Base

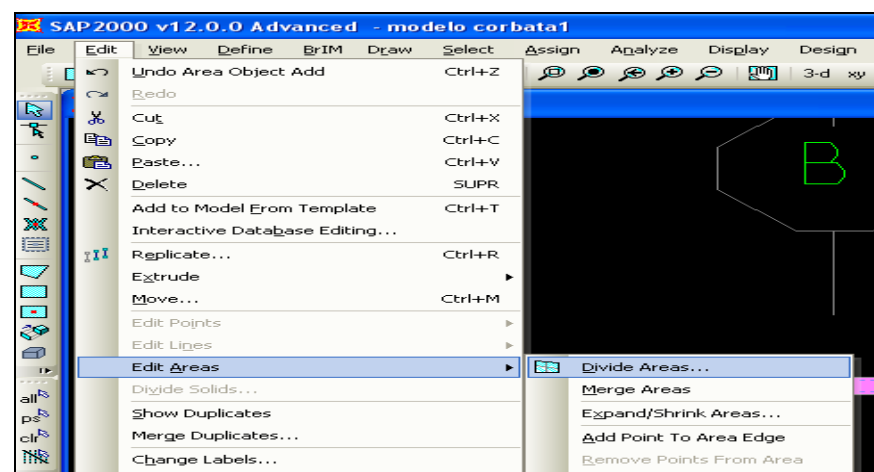


Figura 5.24 Herramienta para replicar.

Se tomó el elemento de área y se dividió en secciones uniformes de 1 metro de longitud .

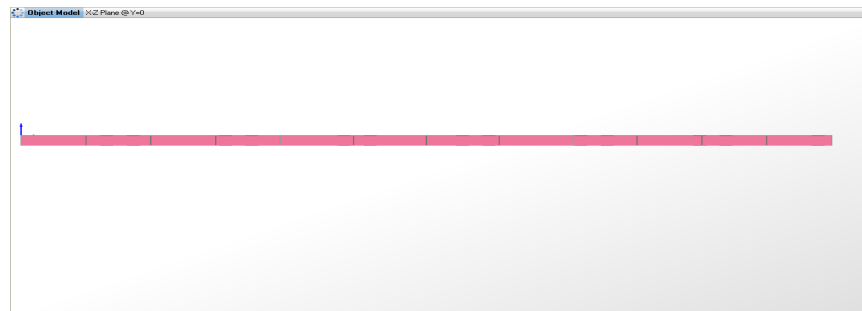


Figura 5.25 Sección transversal de entrepiso

Una vez extruida esta área se borran los elementos de área. Los cuales sólo se usaron para la elaboración del elemento sólido; pero que no hacen parte del modelo. Por tanto, se procede a elaborar el entrepiso de concreto tal como lo señalan las figuras 5.26 y 5.27

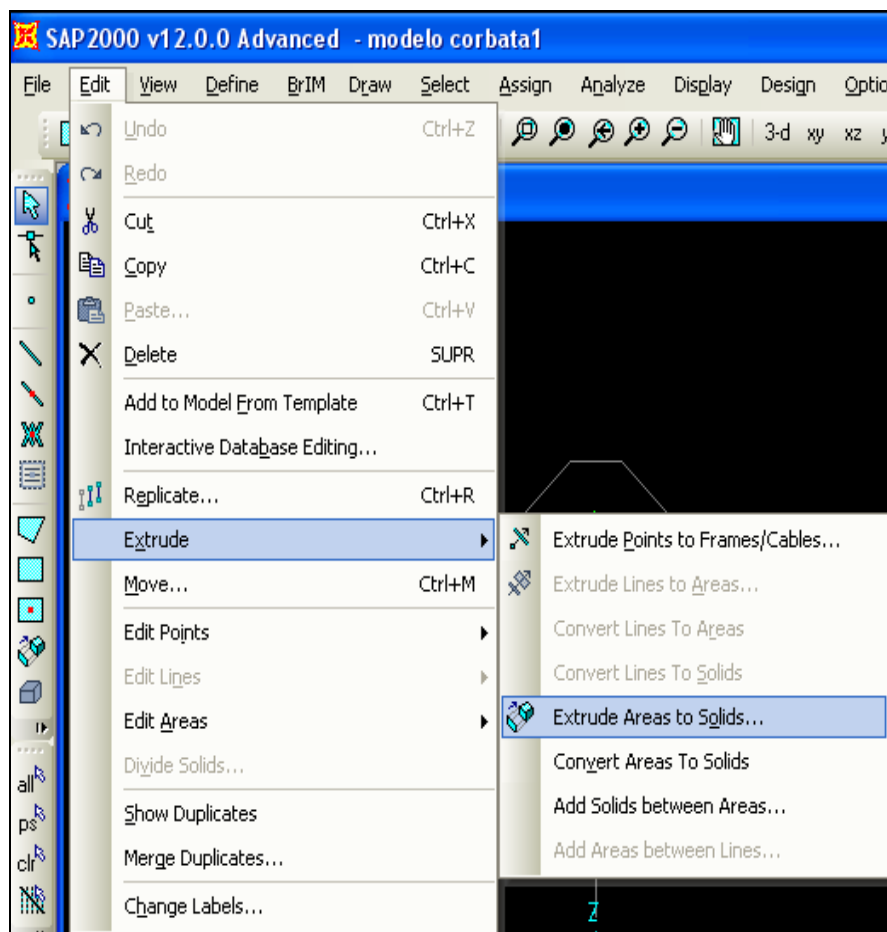


Figura 5.26 Función para extrudir los sólidos.

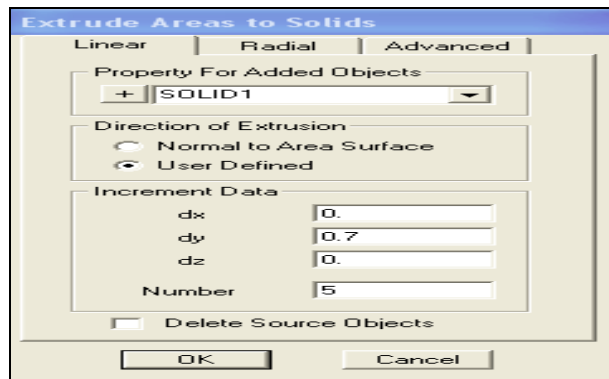


Figura 5.27 Comando de extrusión

Una vez extruida esta área se borran los elementos del área. Los cuales sólo se usaron para la elaboración del elemento sólido; sin embargo no hacen parte del modelo. Como se muestra en la figura

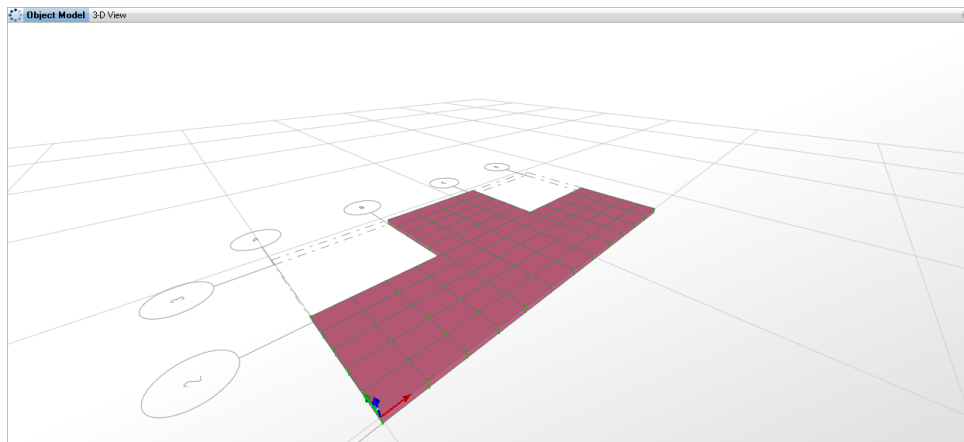


Figura 5.28 Modelo del entrepiso Corbata

Finalmente se le asignan los elementos tipo viga y se completa el modelo numérico como se aprecia en la figura 2.9.

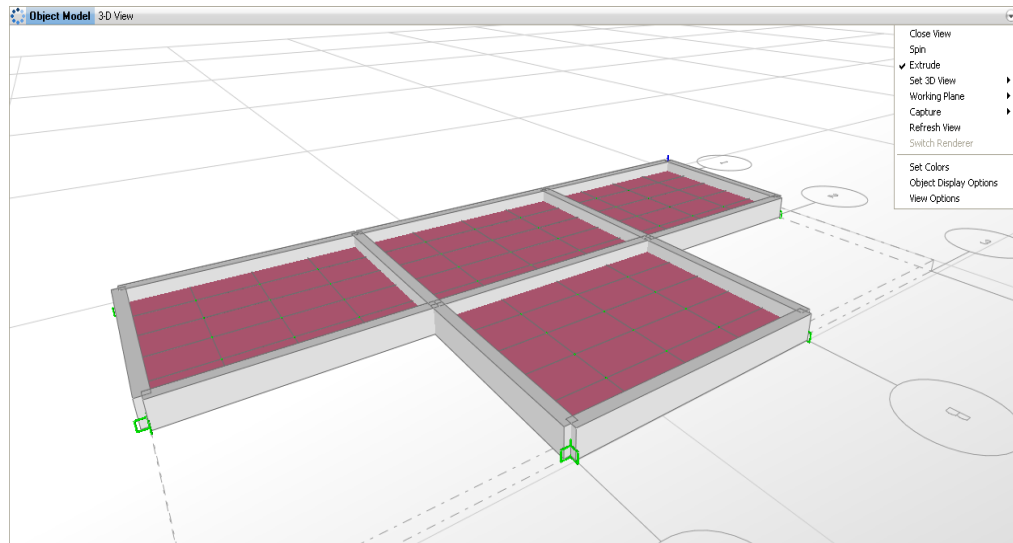


Figura 2.9 Modelo Corbata.

6. Análisis de datos

Para cada locación se realizaron 8 registros con los 4 acelerómetros en las posiciones anteriormente señaladas. Los registros se efectuaron en los instantes donde las personas realizaban una actividad rítmica como aeróbicos y/o danza.

A continuación, se presentan los respectivos registros de aceleración, con los que posteriormente se obtuvo los espectros de Fourier con el software Degtra.

En la toma de datos in situ se almacenaron registros de aceleración en el tiempo.

Los acelerómetros son capaces de registrar 2000 datos por segundo. Dada la cantidad de datos que eran necesarios procesar en Excel, fue necesario hacer un filtro tomando un dato cada 10, así se filtro a 200 datos por segundo.

6.1 Procedimiento de Procesamiento de Datos

El programa Degtra permite calcular los espectros de Fourier de la siguiente manera:

- 1) Abrir el programa como se nota en la figura 6.1

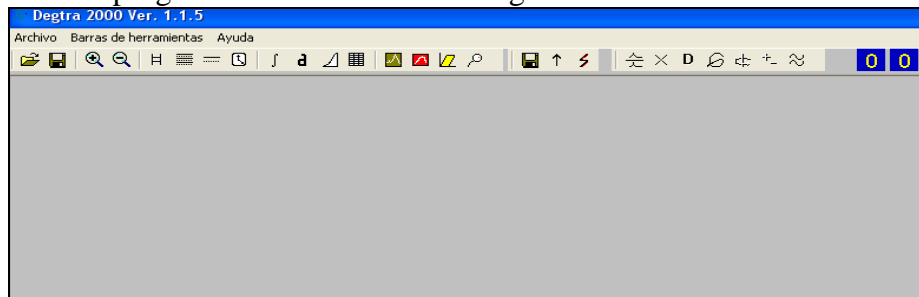


Figura 6.1 Degtra Pantalla en Blanco

- 2) Abrir una ventana para cargar un registro de aceleración como se nota en la figura 6.2

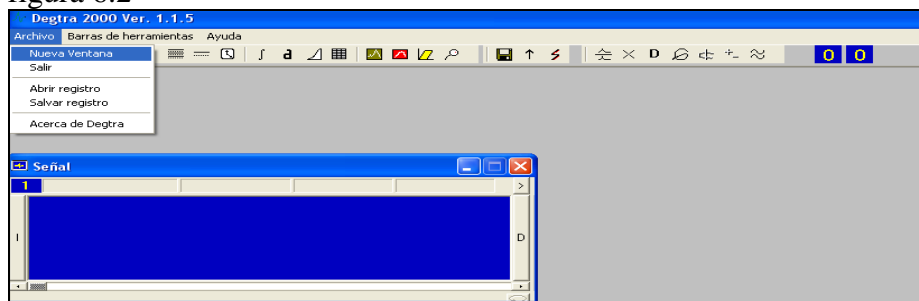


Figura 6.2 Degtra nueva ventana de Trabajo.

- 3) Buscar el archivo de aceleración al cual se le desea calcular su espectro de Fourier, para cada registro de cada acelerómetro existe un archivo único en formato .prn como lo indica la figura 6.3

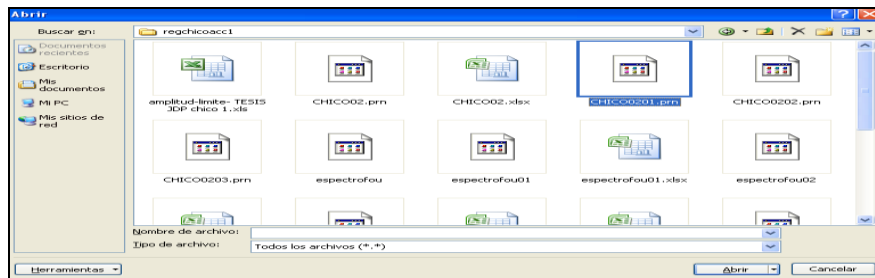


Figura 6.3 Buscar el archivo de aceleración.

- 4) Se introduce el archivo especificando que tipo de archivo es, se indica cuantas líneas no tienen información relevante en el registro, y en el espacio de DT se coloca el delta de tiempo que tuvo el registro, como lo ilustra la figura 6.4, que en este caso fue 0.005 segundos.

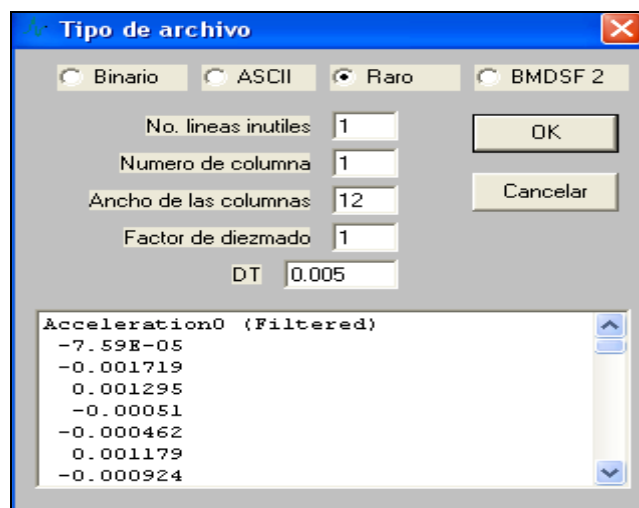


Figura 6.4 Cargar el Archivo de Aceleración.

- 5) Se abre el registro de aceleración, para este caso se uso un filtro tipo pasa banda que delimitó el rango de las frecuencias entre 0.01Hz a 30 Hz. Como lo indica la figura 6.5

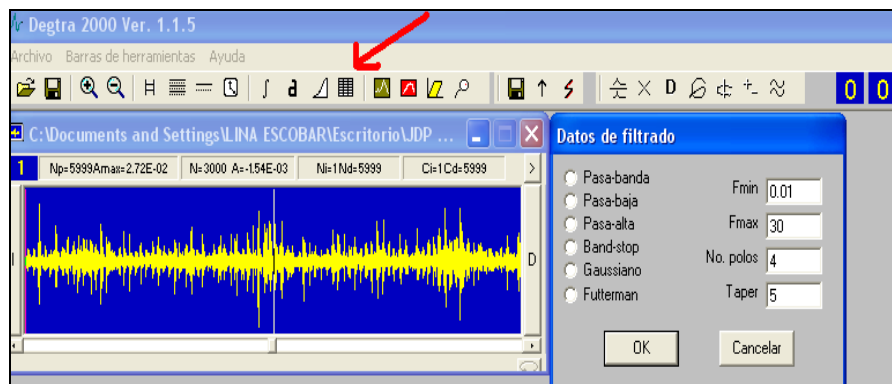


Figura 6.5 Flitro Pasa Banda

- 6) Degtra señala el registro de aceleración máxima, el cual es una aproximación muy precisa de la aceleración del piso dicho valor se indica la figura 6.6

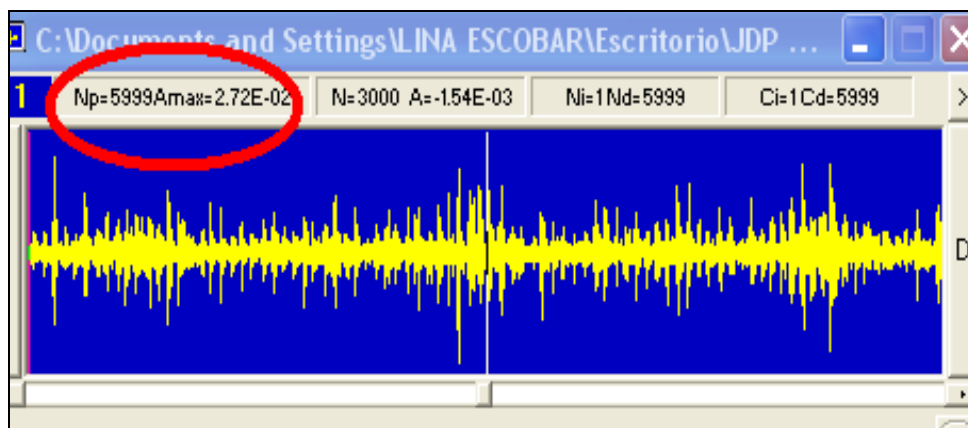


Figura 6.6 Registro de Aceleración en Degtra.

- 7) Una vez el registró filtrado, se llama el espectro fourier, el cual nos indica en su pico, la frecuencia dominante, como lo indica la figura 6.7

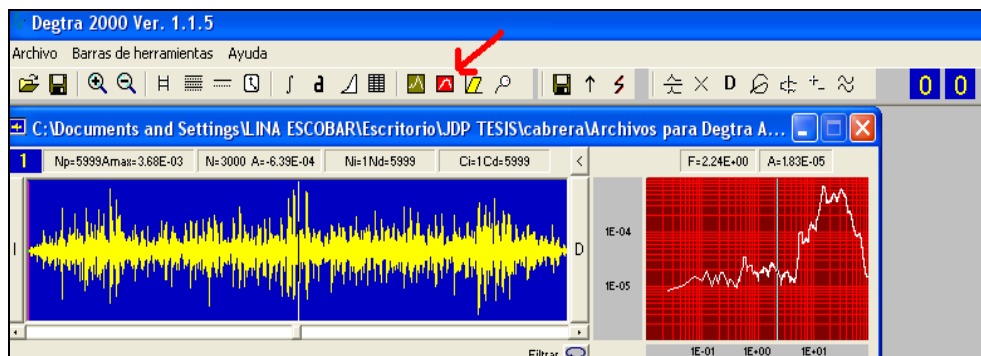


Figura 6.7 Calculo de Espectro de Fourier.

- 8) Luego se exportan los datos del Espectro a Excel, como lo señala la figura 6.8.

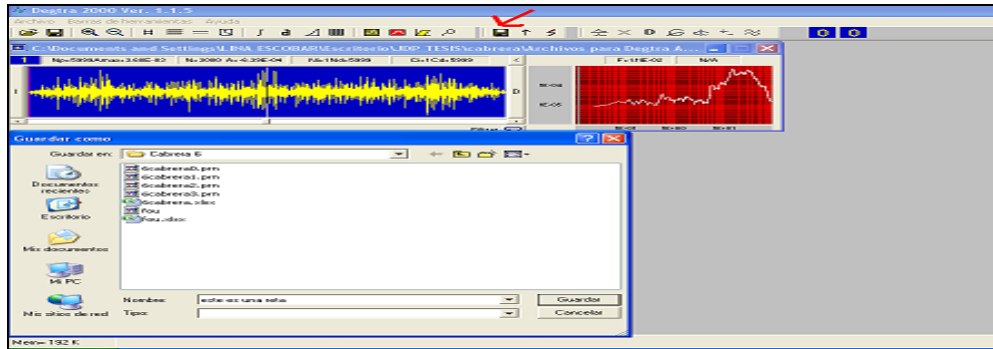


Figura 6.8 Modo de exportar el Espectro de Fourier de Degtra a Excel

De esta manera se procesaron los datos para calcular las aceleraciones máximas “Sa” y las frecuencias dominantes.

Una vez procesados la totalidad de los registros en Degtra, los cuales fueron 8 para las 3 locaciones, registrados con 4 acelerómetros para un total de 96 espectros de Fourier los cuales se presentan a manera de anexos.

Las aceleraciones y las frecuencias se relacionan directamente con los desplazamientos de la siguiente manera:

La aceleración que se registra, es un porcentaje de la gravedad, ésta se multiplica por la gravedad y se tiene la aceleración en unidades de m/s^2

A su vez se tiene la frecuencia dominante calculada con el espectro de Fourier “F”, con dichos parámetros se calcula la velocidad angular, teniendo la velocidad angular, se puede encontrar el desplazamiento vertical de la losa utilizando las ecuaciones de un oscilador simple. El detalle de los pasos del cálculo se presentan en la tabla 6.1

Descripción	Acelerometro	A (G)	Sa (m/s ²)	Frecuencia (Hz)	Velocidad Angular (rad/s)	Desplazamiento (m)	Desplazamiento (pulgadas)
Registro 3	0	G%	Sa (m/s ²)	F	$w = 2\pi * F$	Sa/w^2	m/0.0254

Tabla 6.1 Metodología de cálculo de desplazamientos críticos.

Una vez se encuentran los desplazamientos en pulgadas, se puede acudir a la Norma alemana DIN 4150-2 la cual relaciona las frecuencias dominantes en

unidades de CPM con los desplazamientos o amplitudes de vibración. Ver capítulo 2, tablas 1.4 a 1.7.

6.2 Tabla Resumen de resultados críticos

Todos los datos, registros y procedimientos necesarios se adjuntan al presente trabajo en anexos, dicho anexos están consolidados por número de registro, para cada locación.

Una vez analizados todos los registros encontrados, se identifican los registros críticos, los cuales generan los mayores desplazamientos. En seguida se presentan los datos en tablas resumen de cada uno de los puntos analizados.

6.2.1 Chicó

En la tabla 6.2, el resumen de resultados de los registros críticos, sólo presentan los registros que arrojaron información lógica, “partiendo de las aceleraciones permisibles de la tabla 1.0 y tabla 1.1” de las aceleraciones, frecuencias y desplazamientos esperados bajo la luz de los resultados de los diferentes autores que han realizado trabajos en el tema de la interacción humano estructura, resaltando en amarillo la condición crítica:

	Acelerometro	Sa (m/s ²)	F (Hz)	ω (rad/s)	Δ (m)	Δ (inch)
Registro 1	0	2.040	7.76	48.781	0.00085750	0.03375992
	1	0.883	8.67	54.456	0.00029772	0.01172143
	2	2.668	8.07	50.698	0.00103815	0.04087206
	3	0.069	8.67	54.475	0.00002314	0.00091104
Registro 2	1	1.648	9.12	57.303	0.00050191	0.01976037
	2	2.443	9.40	59.062	0.00070025	0.02756888
	3	0.106	8.07	50.705	0.00004121	0.00162238
	1	0.609	8.3	52.150	0.00022400	0.00881883
Registro 3	2	2.276	8.12	51.019	0.00087435	0.03442322
	0	0.606	7.93	49.826	0.00024420	0.00961430
	3	0.041	8.51	53.470	0.00001427	0.00056197
	0	0.606	7.93	49.826	0.00024420	0.00961430
Registro 4	1	1.884	8.08	50.768	0.00073078	0.02877094
	3	0.038	8.51	53.470	0.00001324	0.00052144
	0	0.177	8.07	50.705	0.00006868	0.00270396
	3	0.034	8.33	52.339	0.00001228	0.00048359

Tabla 6.2 Resumen de Resultados Chicó

6.2.1.1 Acelerograma Crítico

Una vez identificados los registros de críticos de desplazamiento, se presenta el registro de aceleración que causó la condición crítica, como se muestra en la figura 6.9.

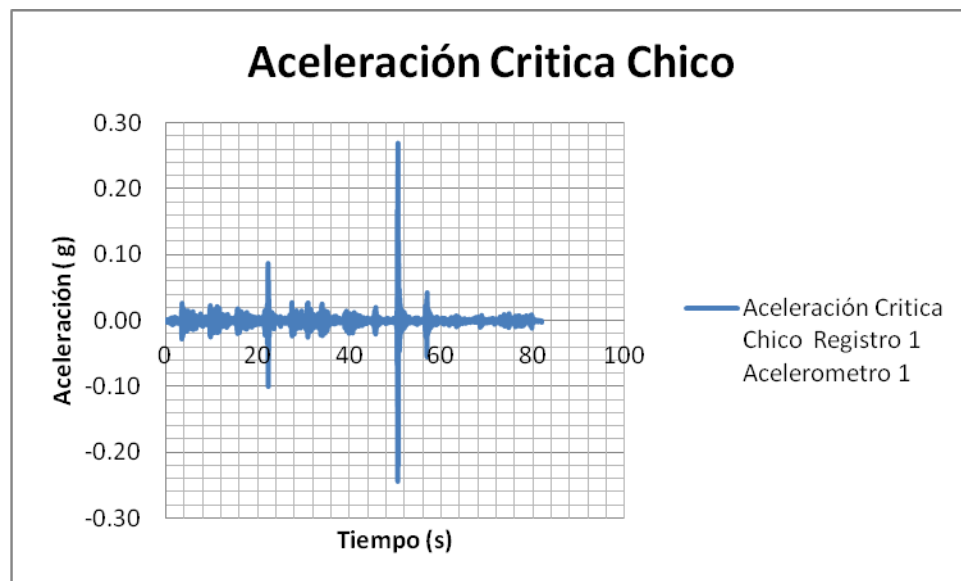


Figura 6.9 Aceleración Crítica Chicó

6.2.1.2 Espectro de Fourier

El espectro de Fourier crítico se presenta en la figura 6.10:

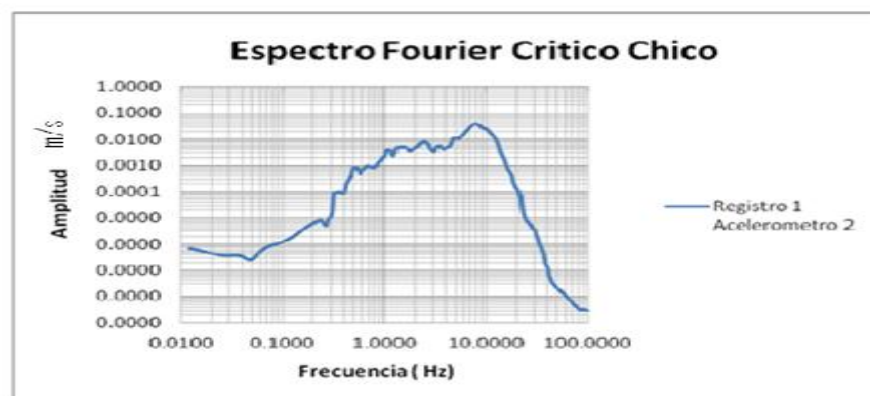


Figura 6.10 Espectro de Fourier Crítico Chicó

6.2.1.3 Tabla resumen

En la tabla 6.3, se presenta un resumen de los resultados críticos.

CHICÓ REGISTRO CRÍTICO						
Descripción	Registro	Sa	f	w	Desplazamientos	Desplazamientos
		m/s ²	Hz	rad/s	m	in
Registro 1	Registro1-2	2.669	8.07	50.698	0.00103849	0.04088559

Tabla 6.3 Tabla resumen Chicó registro Crítico.

6.2.2 Cabrera

A continuación se presenta en la tabla 6.4, el resumen de los resultados de los registros críticos, la presente tabla sólo presenta los registros que arrojaron información lógica dentro de las aceleraciones, frecuencias y desplazamientos esperados bajo la luz de los resultados de los diferentes autores que han realizado trabajos en el tema de la interacción humano-estructura, en la tabla 6.4 se puede apreciar la condición crítica en amarillo.

TOMA DE DATOS CABRERA						
Descripción	Registro	Sa (m/s ²)	F (Hz)	ω (rad /s)	Δ (m)	Δ (inch)
		m/s ²	Hz	rad/s	m	in
Registro 1	0	0.00674	14.80	92.991	0.00000078	0.00003068
	1	0.01207	14.80	92.991	0.00000140	0.00005494
	2	0.01344	14.80	92.991	0.00000155	0.00006119
	3	0.00152	14.80	92.991	0.00000018	0.00000692
Registro 2	0	0.01285	15.20	95.504	0.00000141	0.00005547
	1	0.02865	15.20	95.504	0.00000314	0.00012364
	2	0.04395	15.20	95.504	0.00000482	0.00018970
	3	0.01720	15.20	95.504	0.00000189	0.00007423
Registro 3	0	0.106	29.20	183.469	0.00000315	0.00012392
	1	0.10595	15.40	96.761	0.00001132	0.00044551
	2	0.174	27.30	171.531	0.00000590	0.00023234
	3	0.189	25.60	160.850	0.00000732	0.00028811
Registro 4	0	0.226	9.13	57.365	0.00006856	0.00269937
	1	0.785	9.31	58.496	0.00022935	0.00902955
	2	0.196	4.39	27.583	0.00025788	0.01015258
	3	0.098	4.80	30.159	0.00010785	0.00424613
Registro 5	0	0.08142	14.80	92.991	0.00000942	0.00037071
	1	0.26291	14.80	92.991	0.00003040	0.00119698
	2	0.22367	15.40	96.761	0.00002389	0.00094052
	3	0.30509	14.70	92.363	0.00003576	0.00140800
Registro 6	0	0.03610	15.00	94.248	0.00000406	0.00016001
	1	0.15696	15.10	94.876	0.00001744	0.00068650
	2	0.75145	14.80	92.991	0.00008690	0.00342122
	3	0.15500	14.80	92.991	0.00001792	0.00070568
Registro 7	0	0.34041	16.00	100.531	0.00003368	0.00132607
	1	0.70828	15.60	98.018	0.00007372	0.00290244
	2	0.511	21.50	135.088	0.00002801	0.00110265
	3	0.16677	16.40	103.044	0.00001571	0.00061835
Registro 8	0	0.268	29.70	186.611	0.00000768	0.00030247
	1	0.03335	15.00	94.248	0.00000375	0.00014783
	2	0.224	26.70	167.761	0.00000795	0.00031289
	3	0.229	28.60	179.699	0.00000708	0.00027868

Tabla 6.4 Tabla resumen de resultados Cabrera

6.2.2.1 Acelerograma Crítico

Una vez identificados los registros de críticos de desplazamiento, se presenta el registro de aceleración que causó la condición crítica, como se muestra en la figura 6.11.

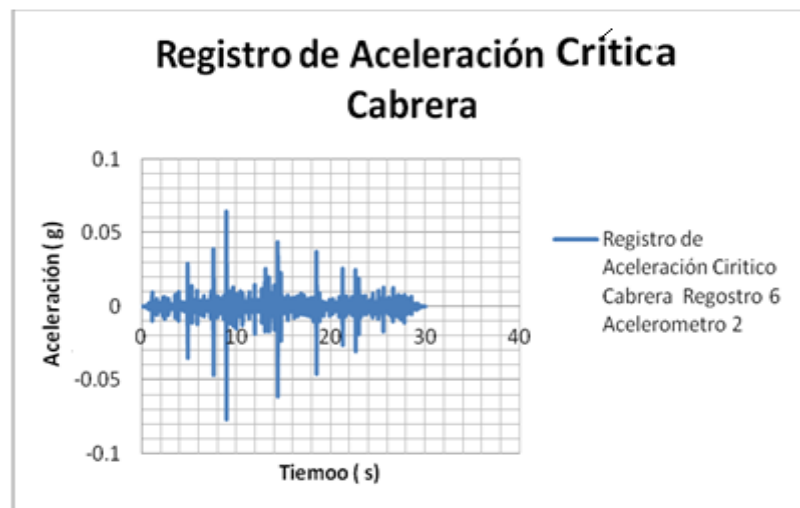


Tabla 6.11 Resumen de Resultados Cabrera

6.2.2.2 Espectro de Fourier

El espectro de Fourier crítico se presenta en la figura 6.12:

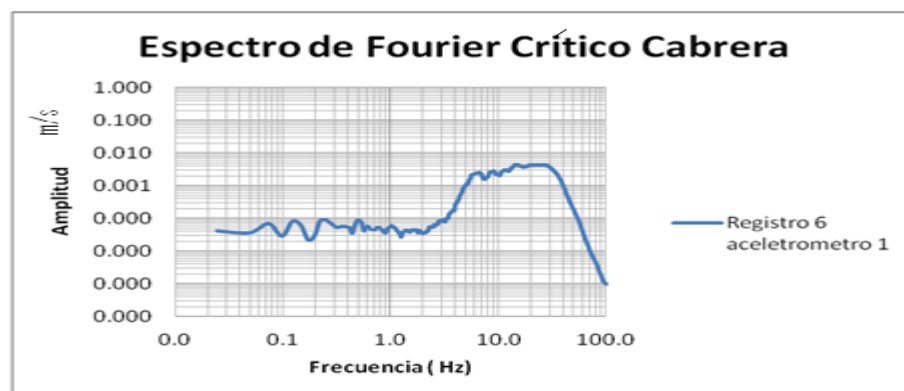


Figura 6.12 Espectro de Fourier Crítico Cabrera

6.2.2.3 Tabla resumen

En la tabla 6.5, se presenta un resumen de los resultados críticos.

TOMA DE DATOS CABRERA						
Descripción	Registro	Sa	f	w	Desplazamiento	Desplazamiento
		m/s ²	Hz	rad/s	m	in
Registro 6	Registro6-2	0.75145	14.80000	92.99114	0.00009	0.00342

Tabla 6.5 Tabla resumen Cabrera registro Crítico

6.2.3 Corbata

A continuación se presenta en la tabla 6.6, el resumen de los resultados de los registros críticos, la presente tabla solo presenta los registros que arrojaron información lógica dentro de las aceleraciones, frecuencias y desplazamientos esperados bajo la luz de los resultados de los diferentes autores que han realizado trabajos en el tema de la interacción humano estructura, en amarillo se puede apreciar la condición crítica:

Descripción	Acelerometro	Sa (m/s ²)	F (Hz)	ω (rad /s)	Δ (m)	Δ (inch)
		Registro 1	0	0.190392	27.612000	173.491313
1	0.108518		22.388000	140.667953	0.000055	0.000216
2	0.100582		22.388000	140.667953	0.000051	0.000200
3	0.190392		27.612000	173.491313	0.000063	0.000249
Registro 4	2	0.151927	22.974000	144.349899	0.000073	0.000287
	3	0.031747	27.100000	170.274322	0.000011	0.000043
Registro 5	3	0.004141	26.733000	167.968393	0.000001	0.000006
Registro 6	1	0.150015	22.925000	144.042023	0.000072	0.000285
	2	0.150015	22.949000	144.192820	0.000072	0.000284
	3	0.007354	22.925000	144.042023	0.000004	0.000014
Registro 7	3	0.022132	26.343000	165.517951	0.000008	0.000032
	1	0.422497	22.632000	142.201050	0.0000209	0.000823
	2	0.232674	22.766000	143.042997	0.0000114	0.000448
	3	0.422497	26.746000	168.050074	0.0000150	0.000589
Registro 8	0					
	1					
	2	0.109225	22.974000	144.349899	0.000052	0.000206
	3	0.422497	26.855000	168.734941	0.0000148	0.000584

Tabla 6.6 Tabla resumen de resultados Corbata

6.2.3.1 Aceleetrograma Crítico

Una vez identificados los registros de críticos de desplazamiento, se presenta el registro de aceleración que causó la condición crítica, como se muestra en la figura 6.12.

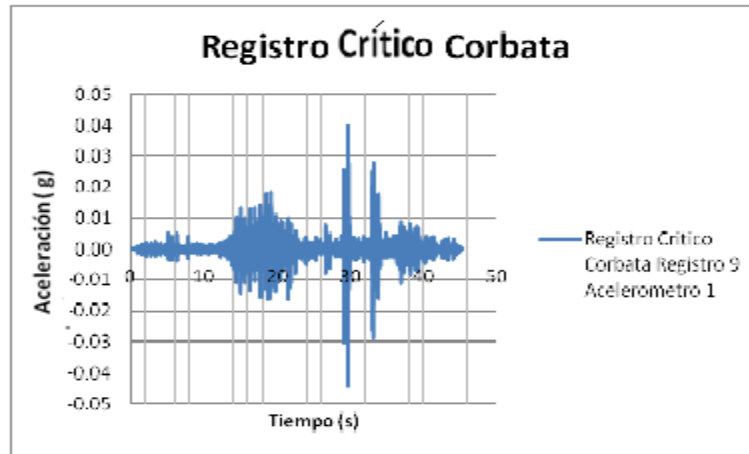


Tabla 6.12 Resumen de Resultados Corbata

6.2.3.2 Espectro de Fourier

El espectro de Fourier crítico se presenta en la figura 6.13:

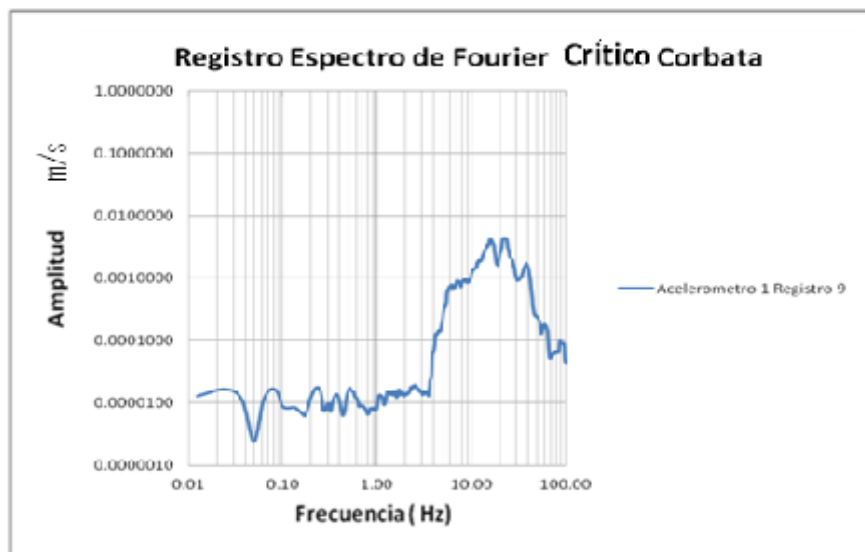


Figura 6.13 Aceleración Crítica Corbata

6.2.3.3 Tabla resumen

En la tabla 6.6, se presenta un resumen de los resultados críticos.

TOMA DE DATOS CORBATA						
Descripción	Registro	Sa	f	w	Desplazamiento	Desplazamiento
		m/s ²	Hz	rad/s	m	in
Registro 9	1	0.422497	22.632000	142.201050	0.000021	0.000823

Tabla 6.6 Tabla resumen Corbata registro Critica

6.3 Estimación de Carga Indirectamente

Dentro de los objetivos específicos de este trabajo de grado se estimó el estado de esfuerzo que percibe la placa en las actividades rítmicas, para esto se elaboró una metodología que no existe en alguna la literatura de la dinámica estructural a la fecha, para realizar una función de carga.

Para estimar el esfuerzo o la carga que se induce con la actividad humana en estas mediciones, se efectuó la siguiente metodología, entendiéndose esta carga como la carga que se tenía en campo para generar las deformaciones que registraron mediante la relación de desplazamiento de un oscilador simple, esta función de carga se denominará carga registrada como lo indica la tabla 6.7:

Variable o Constante	Magnitud	Unidades
Carga de Prueba	k0	Ton/m ²
Numero Nudos	k1	nudos
Área Aplicada	k2	m ²
Fuerza	K0*k2	Ton
Fuerza aplicada	(k0*k2)/k1	Ton/Nudos
Deformación Modelo	k3	m
Deformación Vibraciones	k4	m
Carga Registrada	k0*k4/k3	Ton/m ²

Tabla 6.7 Metodología de estimación de la función de Carga.

Esta metodología, parte de la base de encontrar una carga que sea capaz de realizar la de deformación que se obtuvo en campo relacionando esta deformación con la deformación que se genero en modelo numérico.

A continuación se explicará detalladamente la forma como se estimo la deformación del modelo numérico, para los 3 sitios de medición.

6.3.1 Chicó

A continuación se describe el proceso de la elaboración del modelo numérico en SAP 2000. Mediante el cual se estimaron las deformaciones.

Como primera medida se generó un caso de carga donde no se toma la carga por peso muerto como lo indica la figura 6.14.

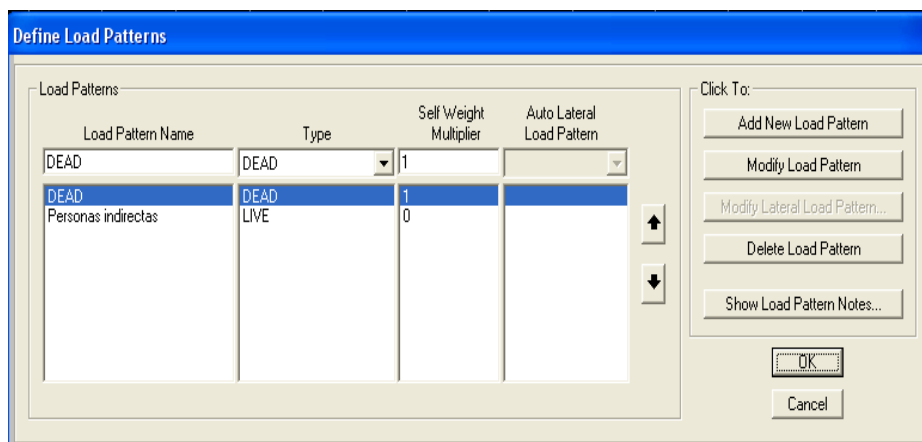


Figura 6.14 Definición de Caso de carga son peso propio

Se procede a cargar el modelo por nudos con una carga de 1.09Ton/nudo, en los nudos donde estaban las personas bailando, este proceso se ilustra en la figura 6.15.

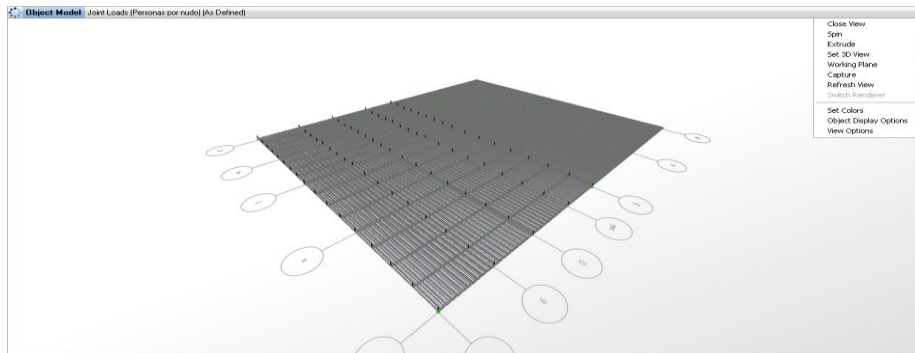


Figura 6.15 Modelo Chicó Cargado Por Nudos.

Una vez se corre este modelo, se determinaron las deformaciones, la deformación crítica se presenta en la tabla 6.8.

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
2404	Personas por nudo	LinStatic	-0.00003	0.000002041	-0.014102	0	0	0

Tabla 6.8 Deformaciones Máximas Personas por Nudo modelo Chicó

A continuación en la tabla 6.9 se presentan los resultados de la función de carga.

Chicó		
Variable o Constante	Magnitud	Unidades
Carga de Prueba	1	Ton/m2
Numero Nudos	85	nudos
Área	88.603	m2
Fuerza	88.603	Ton
Fuerza aplicada	1.04238824	Ton/Nudos
Deformación Modelo	0.014102	m
Deformación Vibraciones	0.00103849	m
Carga Registrada	0.07364133	Ton/m2

Tabla 6.9 Tabla resumen función de carga modelo Chicó

6.3.2 Cabrera

A continuación, se describe el proceso de la elaboración del modelo numérico en SAP 2000. Mediante el cual se estimaron las deformaciones.

Como primera medida se generó un caso de carga donde no se toma la carga por peso muerto como lo indica la figura 6.14.

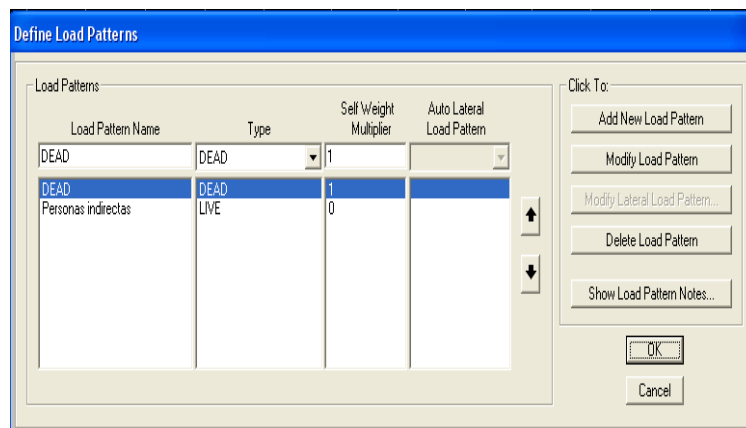


Figura 6.14 Definición de Caso de carga son peso propio

Se procede a Cargar el modelo por nudos con una carga de 0.53 Ton/nudo, en los nudos donde estaban las personas bailando, éste proceso se ilustra en la Figura 6.15.

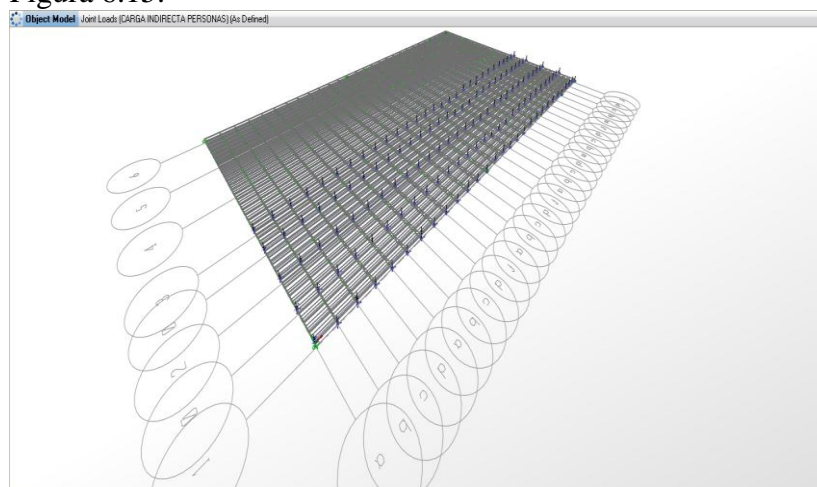


Figura 6.15 Modelo Cabrera Cargado Por Nudos.

Una vez se corre este modelo, se determinaron las deformaciones. La deformación crítica se presenta en la tabla 6.8.

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radian	Radians	Radians
9773	CARGA INDIRECTA PERSONAS	LinStatic	0.000005171	0.000003158	-0.003233	0	0	0

Tabla 6.8 Deformaciones Máximas Personas por Nudo modelo Cabrera

A continuación en la tabla 6.9 se presentan los resultados de la función de carga.

Cabrera		
Variable o Constante	Magnitud	Unidades
Carga de Prueba	1	Ton/m2
Numero Nudos	45	nudos
Area	23.93348	m2
Fuerza	23.93348	Ton
Fuerza aplicada	0.53185511	Ton/Nudos
Deformación Modelo	0.003233	m
Deformación Vibraciones	0.00008690	m
Función De Carga	0.02687874	Ton/m2

Tabla 6.10 Tabla resumen función de carga modelo Cabrera

6.3.3 Corbata

En seguida, se describe el proceso de la elaboración del modelo numérico en SAP 2000. Mediante el cual se estimaron las deformaciones.

Como primera medida se generó un caso de carga donde no se toma la carga por peso muerto como lo indica la figura 6.14.

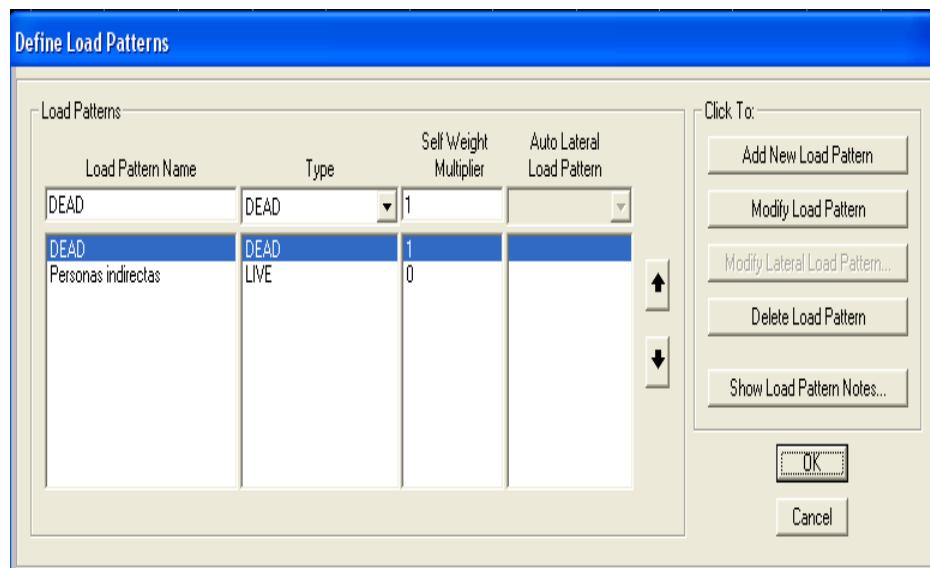


Figura 6.14 Definición de Caso de carga son peso propio

Se procede a cargar el modelo por nudos con una carga de 0.56 Ton/nudo, en los nudos donde estaban las personas bailando, este proceso se ilustra en la figura 6.15.

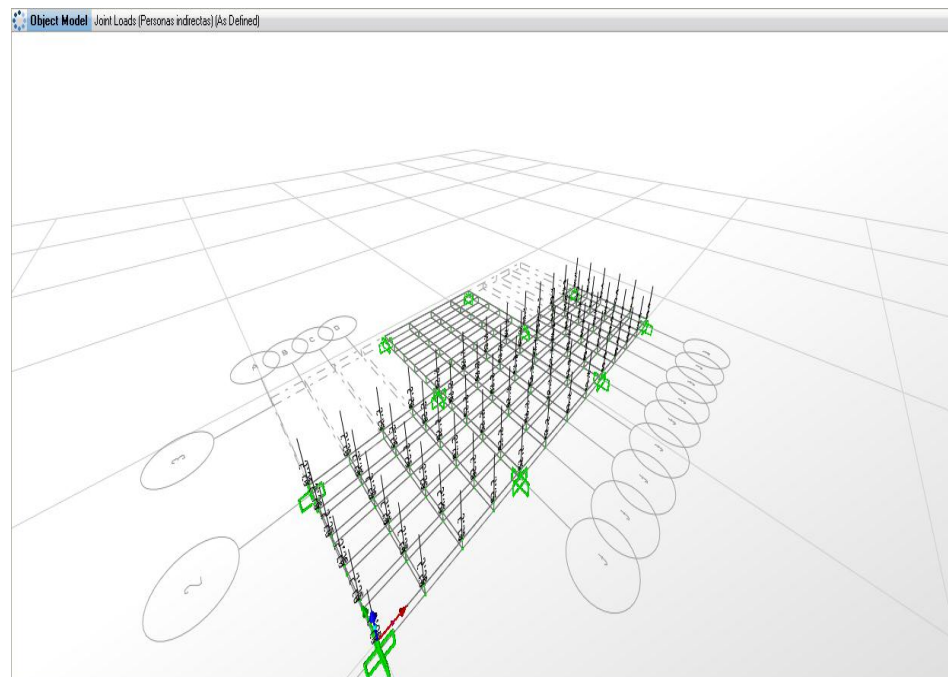


Figura 6.15 Modelo Cabrera Cargado Por Nudos.

Una vez se corre el modelo, se determinaron las deformaciones. La deformación crítica se presenta en la tabla 6.8.

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
73	Personas indirectas	LinStatic	0.000012	0.000007611	-0.000603	0	0	0

Tabla 6.10 Deformaciones Máximas Personas por Nudo modelo Corbata

A continuación en la tabla 6.11 se presentan los resultados de la función de carga.

Corbata		
Variable o Constante	Magnitud	Unidades
Carga de Prueba	1	Ton/m2
Numero Nudos	78	nudos
Área	43.75	m2
Fuerza	43.75	Ton
Fuerza aplicada	0.560897436	Ton/Nudos
Deformación Modelo	0.000603	m
Deformación Vibraciones	0.0000224	m
Carga Registrada	0.037092744	Ton/m2

Tabla 6.11 Tabla resumen función de carga modelo Corbata

6.4 Carga Estimada

Para comparar la carga estimada se decidió hacer una relación de los estados de esfuerzos a los cuales fue sometida la placa durante la toma de lectura.

Para esto se decidió calcular la relación de carga por metro cuadrado en base a la cantidad de personas que estaban en las los escenarios de lectura y el peso promedio de dichas personas, como lo indica la tabla 6.12.

Chicó		
no personas	30,00	#
Peso Promedio	64,00	kg
Área	29,53	m ²
Carga Esperada	65,01	Kg/m ²
Carga Esperada	0,06501	Ton/m ²

Cabrera		
no personas	12,00	#
Peso Promedio	64,00	kg
Área	23,93	m ²
Carga Esperada	32,09	Kg/m ²
Carga Esperada	0,03209	Ton/m ²

La corbata		
no personas	7	#
Peso Promedio	64	kg
Área	16	m ²
Carga Esperada	28	Kg/m ²
Carga Esperada	0,028	Ton/m ²

Tabla 6.12 Resumen Función de Carga

6.5 Modos de Vibración Modelo

Las mediciones realizadas son una medida directa de los modos fundamentales de la estructura, a continuación se presentan los resultados de los modos de vibración del Modelo Numérico y su respectiva comparación con los datos de campo:

6.5.1 Chicó

El modelo de gimnasio Chicó registro un modo fundamental de vibración de 0.13889 s como se puede apreciar en la figura 6.14

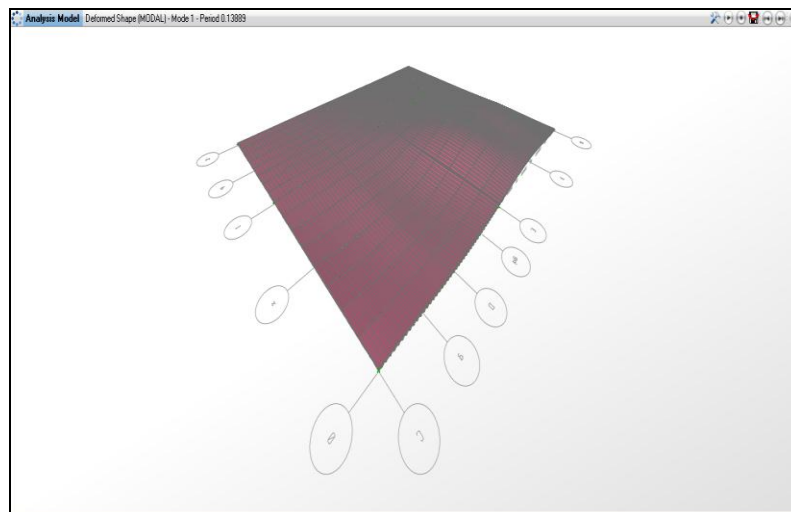


Figura 6.14 Modo de vibración gimnasio Chicó

6.5.2 Cabrera

El modelo de gimnasio Cabrera registro un modo fundamental de vibración de 0.07518 s como se observa en la figura 6.15

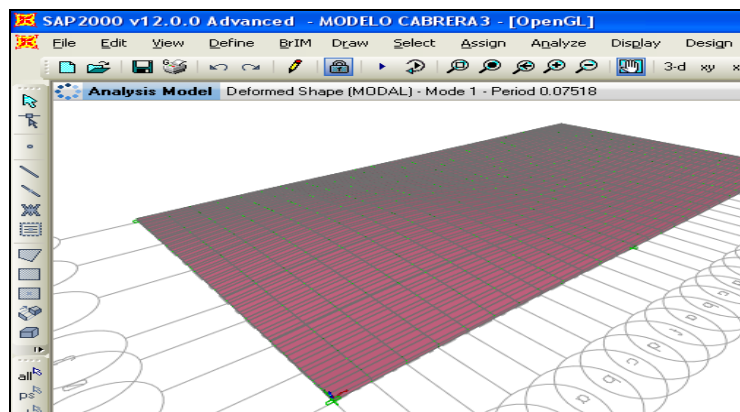


Figura 6.15 Modo de vibración gimnasio Cabrera

6.5.3 Corbata

El modelo de la discoteca Corbata registro un modo fundamental de vibración de 0.03961 s como se analiza en la figura 6.15

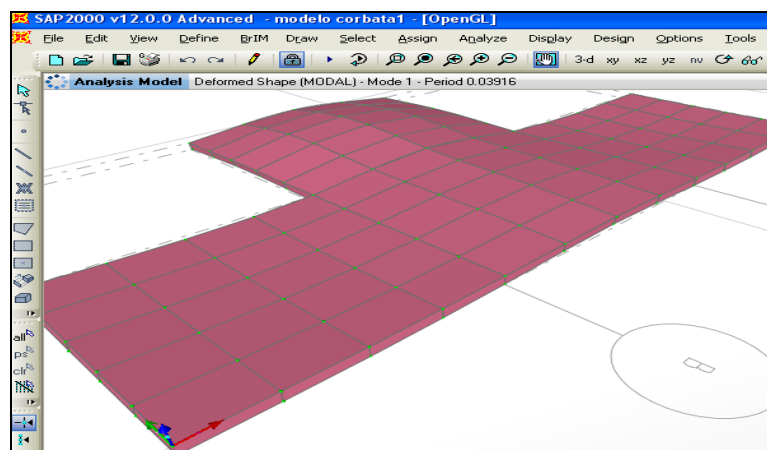


Figura 6.15 Modo de vibración discoteca Corbata

6.5.4 Comparación de vibraciones Modelo vs Campo

En breve, se presenta la comparación de los modos de vibración producto de los promedios de cada registro crítico de todos de los registros en campo, con lo registros del modelo numérico elaborado en Sap 2000 V12, como se puede apreciar en la tabla 6.12

Chicó			
Datos Modelo Numérico			Datos Campo Acelerómetro
Periodo Promedio	0.1388	s	Periodo (s)
Frecuencia	7.19	Hz	Frecuencia (Hz)
			8.3246

Cabrera			
Datos Modelo Numérico			Datos Campo Acelerómetro
Periodo promedio	0.07518	s	Periodo (s)
Frecuencia	13.3014099	Hz	Frecuencia (Hz)
			13.88686602

Corbata			
Datos Modelo Numérico			Datos Campo Acelerómetro
Periodo promedio	0.03961	s	Periodo (s)
Frecuencia	25.24615	Hz	Frecuencia (Hz)
			24.4408808

Tabla 6.13 Comparación de Modos fundamentales de Vibración

7. Conclusiones

7.1 Gimnasio Bodytech Chicó

Con estos resultados observamos que las actividades humanas pueden llegar a ser severas para las personas; empero que dichos movimientos no generan aceleraciones que sean capaces de generar problemas estructurales.

En conclusión el nivel de relación Humano - Estructura es de severos para personas, como se puede apreciar en la figura 7.1 y cuyos valores críticos se presentan en la tabla 7.1

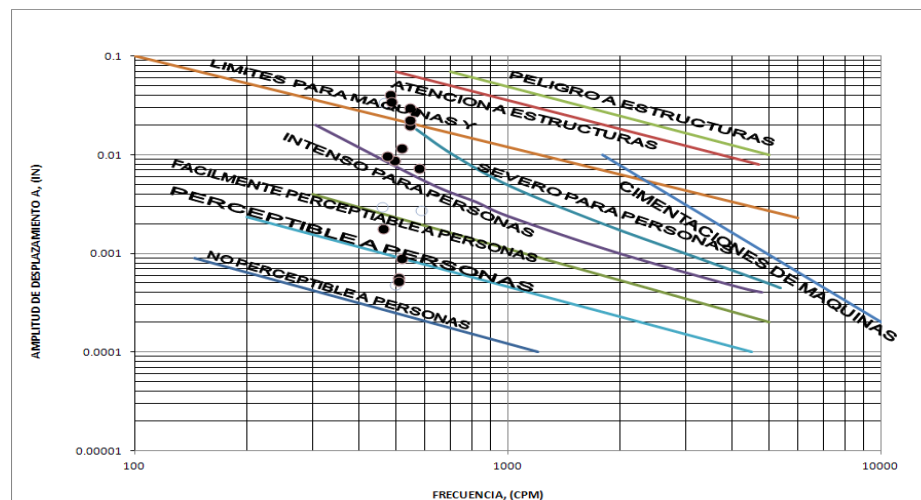


Figura 7.1 Relación Humano - Estructura gimnasio Chicó

Chicó		
Frecuencia	484.128	CPM
Desplazamiento	0.04088559	Pul
Nivel	Severos para personas	

Tabla 7.3 Resumen de valores Críticos Chicó

7.2 Gimnasio Bodytech Cabrera

Los datos registrados en el gimnasio Cabrera, dicta que la relación humano estructura es intenso para personas, como se puede apreciar en la figura 7.2 y cuyos valores críticos se presentan en la tabla 7.2

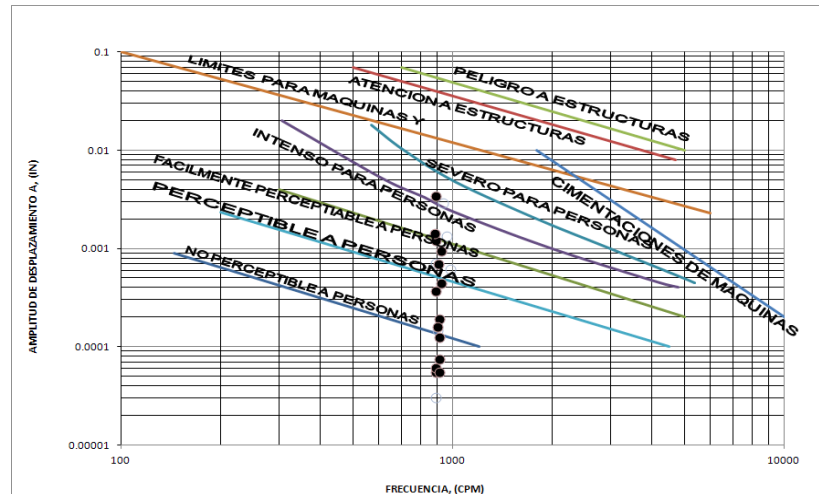


Figura 7.2 Relación Humano Estructura gimnasio Cabrera

Cabrera		
Frecuencia	888	CPM
Desplazamiento	0.00342122	IN
Nivel	Intenso para Personas	

Tabla 7.3 Resumen de valores Críticos Cabrera

7.3 Discoteca Corbata

En conclusión el nivel de relación humano estructura es perceptible a personas.

El modelos numéricos tanto como los datos registrados en campo, confirman la la frecuencia dominante de la estructura.

Este modelo presentó los menores niveles de vibración, esto obedece a su tipología estructural, la cual contaba con una masa importante aportada por un entrepiso en concreto macizo a diferencia de los entrepisos de los gimnasios como se puede apreciar en la figura 7.3 y cuyos valores críticos se presentan en la tabla 7.3

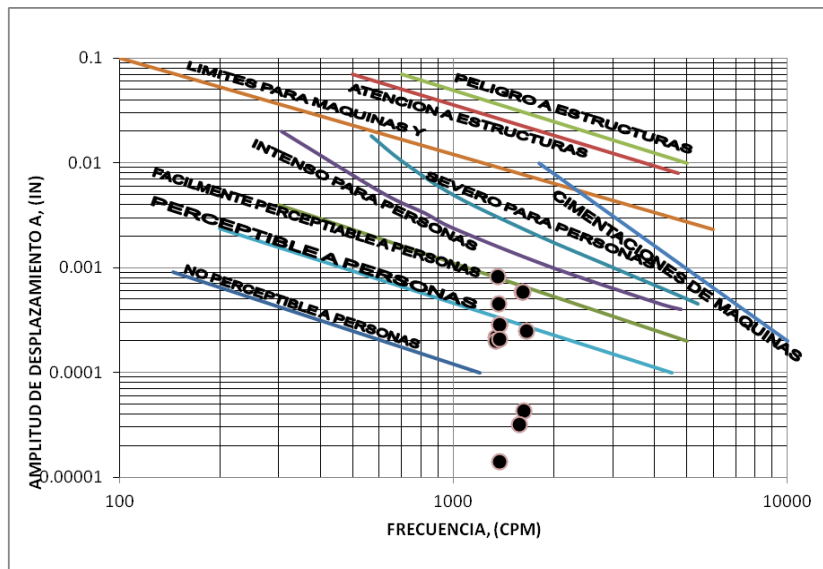


Figura 7.3 Relación Humano Estructura Discoteca Corbata

Corbata		
Frecuencia	1357.92	CPM
Desplazamiento	0.00082259	Pul
Nivel	Perceptible a Personas	

Tabla 7.4 Resumen de valores Críticos Corbata

7.4 Comparación con otros trabajos similares:

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se desean comparar contra los artículos de referencia (10), la referencia (2) y las recomendaciones de diseño de la NSR-2010 como se ve en la figura 7.4, la cual determino que:

B.4.7 – EFECTOS DINÁMICOS

Las edificaciones expuestas a excitaciones dinámicas producidas por el público tales como: estadios, coliseos, teatros, gimnasios, pistas de baile, centros de reunión o similares, deben ser diseñadas de tal manera que tengan frecuencias naturales verticales iguales o superiores a 5 Hz (períodos naturales verticales menores de 0.2 s).

Tabla 7.5 Tomado de NSR -2011 Titulo B

Los límites de vibraciones que se registraron están dentro de los rangos normales de las estructuras que se manejan en ingeniería civil, dentro del estudio del Dr. Allen.

Se puede observar que la frecuencia dominante de la actividad rítmica es de 7 Hz, como se indica en la NSR-2010 y en el presente trabajo, las vibraciones son mayores de 5 hz.

El rango de vibraciones de este trabajo estuvo entre: 6 Hz hasta 25 Hz.

Es importante recalcar que las vibraciones asociadas a mayor grado de precepción en la relación humano estructura fue precisamente el gimnasio Chicó donde la frecuencia dominante se registro en el orden de 7 Hz.

La estimación indirecta de la carga asociada a los desplazamientos, indican valores de un orden de magnitud coherentes dentro de los rangos esperados, esta relación de carga esperada e con la carga registrada se puede apreciar en la tabla 7.6.

Chicó		
Carga Esperada	0,06501	Ton/m2
Carga Registrada	0.07364133	Ton/m2

Cabrera		
Carga Esperada	0,03209	Ton/m2
Carga Registrada	0,03	Ton/m2

La corbata		
Carga Esperada	0,028	Ton/m2
Carga Registrada	0,0378	Ton/m2

Tabla 7.6 Resumen Función de Carga

En los gimnasios las actividades no asociadas a actividades rítmicas, también aportaron a los registros de aceleración, esto por ejemplo ocurrió en el gimnasio del Chicó en el cual se encuentra una zona de maquinas pesas, cuando una persona deja caer una pesa, la vibración era sensiblemente perceptible. Fue precisamente en éste gimnasio los picos más importantes en los registros.

- Los registros tomados en los diferentes sitios indican que el parámetro de 5 Hz con el cual la NSR-10 utiliza como recomendación de diseño, para efectos dinámicos, en estructura de ocupación L3 discotecas y/o gimnasios, es un valor poco conservador puesto que los resultados del presente estudio demuestra que frecuencias alrededor de los 7 Hz, son severas para la percepción de las personas y están muy cercanas a la del límite de atención a estructuras.
- El presente estudio indica que existe una relación directa entre la frecuencia y las vibraciones de las losas, la cual establece que a menor frecuencia mayor es la vibración.
- En el gimnasio chico se encontraban 30 personas y el gimnasio cabrera solamente 12 personas, lo cual hizo que para este análisis la relación de carga por metro cuadrado fuese más del doble, entre los dos gimnasios.

8. Referencias

- 1) Albert Ricardo Ortiz, D. G. (2009). Caracterización del efecto de la interacción Humano-Estructura en el Estadio Olímpico en Cali, Colombia. *REVISTA, Ingeniería e Investigación.* , Num.1 Vol.29.
- 2) Corresponsal Jorge Quintero. (26 de Abril de 2008). El Tiempo. Periódico El Tiempo, Información Virtual. Pág. 1.
- 3) García, L. (1998). “Dinámica Estructural Aplicada al diseño Sísmico”. 1998: Revista Virtual, Universidad De los Andes.
- 4) García, Luis Enrique. *Dinámica Estructural aplicada al diseño sísmico.* Ediciones Uniandes, 1996.
- 5) Guzman, C. (23 de julio de 2010). "Los viernes, bares generan cerca de 500 mil empleos". Periódico El Tiempo , pág. 1.
- 6) Pernica & Allen. a. (1990) Institute for Institut de Research in recherche en Construction construction, pp 1-11, *Reprinted from Canadian Journal of Civil Engineering* Vol. 17, No. 5 October 1990 p. 771 -779(IRC Paper No. 1674)
- 7) Pernica & Allen. a. (2008). “Control of Floor Vibration”. Revista Construction Technology. Pp 2,4.
- 8) Ruíz (2006), Análisis de las vibraciones generadas por voladuras para la explotación de carbón en la mina pribbenow, departamento del cesar, Colombia Departamento De Ingeniería Civil Facultad Ingeniería. Pág.1- 63.
- 9) Ruíz, D.R. (s.f.). “Estimación y daño sísmico de pórticos de concreto reforzado en Bogotá mediante análisis no lineales en función del tiempo”. Revista de las Escuela Colombiana de Ingeniería , No.69, pp. 15-27.
- 10) Sarria Alberto. “Métodos Geofísicos con aplicaciones a la Ingeniería Civil”. Ediciones Uniandes,
- 11) T, JI. (2003). Understanding the interaction between people and structures. *REVISTA, The Structural Engineer* , 12-13.

- 12) Xuewei, C. (2008). *The Research of Time-History Response Analysis of Floor Vibration*. “Proceedings of First International Conference on Modelling and Simulation”. Pp. 214-220.
- 13) *Manual Técnico Metaldeck*, Universidad De Los Andes Ing. Luis E. Yamin, Colombia , 2007.

TABLA DE ILUSTRACIONES

Tabla 1.0 Tomado de la Referencia (2)	2
Tabla 1.1 Estimación de Frecuencia por Genero de Música, en tomas directas medidas sobre Voladizos del Estadio Pascual Guerrero de la ciudad de Cali.	3
Figura 1.2 Registros de aceleración y espectros de Fourier, Tomado de la referencia (2)....	4
Tabla 1.3 Valores Máximos de Velocidad de partícula (mm/s) para evitar daños (Norma DIN 4150, Standard for ground vibration caused by blasting).....	5
Tabla 1.4 Rango de Vibraciones No perceptibles.	5
Tabla 1.5 Rango de Vibraciones Difícilmente Perceptible	6
Tabla 1.6 Rango de Vibraciones Perceptibles a personas.	6
Tabla 1.7 Rango de Vibraciones intenso a personas.	6
Tabla 1.8 Rango de Vibraciones Severo a personas.....	7
Figura 1.4 Sensibilidad humana a las vibraciones Norma ISO 2631-77	7
Figura 1.2 ISO 2631-2:1989 performance evaluación curve	7
Figura 1.1 Esquemas de osciladores simples.....	8
Figura 1.3 Oscilador simple con amortiguamiento	10
Foto 1.0 Gimnasio Bodytech Chicó	14
Figura 2.1 Planos del cuarto piso Gimnasio Chicó.	15
Figura 2.2 Fotografía planos Gimnasio Chicó, detalle de entrepiso	16
Figura 2.3 Esquema de entrepiso de Gimnasio Chicó.....	16
Figura 2.4 Sección típica Vigas Chicó	17
Foto 1.1 Pórticos en concreto Chico.....	17
Foto 1.2 Sede Cabrera Tomada de <u>www.Bodytech.com</u>	18
Figura 2.5 Fotografía de planos Gimnasio Cabrera.....	18
Foto 1.3 Fotografía del los res	19
Figura 2.6 Fotografía planos Gimnasio Cabrera, detalle de entrepiso	19
Figura 2.7 Esquema de entrepiso de Gimnasio Cabrera.....	20
Figura 2.8 Sección transversal vigueta Cabrera	20
Figura 2.9 Sección transversal viga Cabrera	21
Foto 1.4 La Corbata Tomado de <u>www.facebook.com</u>	21
Figura 2.10 Plano Discoteca Corbata	22
Figura 2.11 Vista lateral del Entrepiso Corbata	22
Figura 2.12 Sección transversal viga tipo Corbata	23
El peralte de la viga no contempla seccion de entrepiso de la losa maciza de concreto.	23
Figura 3.1 Montaje típico de acelerómetro sobre placa.....	24
Foto 1.5 Montaje Típico tomada en montaje de medición Cabrera	26
Foto 1.5 Lectura Chicó	27
Foto 1.6 Lectura Cabrera.....	29
Figura 3.3 Ubicación de acelerómetros Cabrera	29
Foto 1.7 Toma de Registros Corbata	30
Figura 3.4 Ubicación de acelerómetros Cabrera	31

Figura 4.1 definición de ejes Principales Chicó	32
Figura 4.2 Definición de materiales	32
Figura 4.2 definición del Material Concreto 21 Mpa	33
Figura 4.3 Tomado de la referencia 14.....	34
Figura 4.4 definición del Material Acero	35
Figura 4.5 Definición de Geometría de la viga tipo	35
Figura 4.7 Crear la sección transversal del entrepiso.	36
Figura 4.8 Función para replicar un elemento.....	37
Figura 4.9 Resultado de la sección del entrepiso.....	37
Figura 4.10 Sección Entrepiso solida.	38
Figura 5.1 Vista 3 con énfasis en el acanalamiento del entrepiso.	39
Figura 5.2 Vista del Steel Deck.....	40
Figura 5.3 Vista del Modelo Chicó	40
Figura 5.4 definición de ejes Principales Cabrera	41
Figura 5.5 Definición de materiales	41
Figura 5.6 definición del Material Concreto 21 Mpa	42
Figura 5.7 Tomado de la referencia 14.....	42
Figura 5.9 Definición de Material Acero.....	43
Figura 5.10 Elementos tipo viga.....	43
Figura 5.10 Elementos tipo vigueta.....	44
Figura 5.11 Elaboración de sección transversal concreto entrepiso solido	44
Figura 5.12 Crear la sección transversal del entrepiso.	45
Figura 5.13 Función para replicar un elemento.....	45
Figura 5.14 Resultado de la sección del entrepiso.....	46
Figura 5.15 Sección Entrepiso solida.	46
Figura 5.16 Vista 3 con énfasis en el acanalamiento del entrepiso.	47
Figura 5.17 Vista del Steel Deck	48
Figura 5.18 Vista del Modelo Cabrera	48
Figura 5.20 Definición el Material Concreto y del Material Acero	49
Figura 5.21 Modulo de 21 Mpa.....	50
Figura 5.22 Dimensiones de la sección tipo viga modelo Cabrera	50
Figura 5.23 Sección Transversal Base.....	51
Figura 5.24 Herramienta para replicar.....	51
Figura 5.25 Sección transversal de entrepiso	52
Figura 5.26 Función para extrudir los sólidos.	52
Figura 5.27 Comando de extrusión.....	53
Figura 5.28 Modelo del entrepiso Corbata	53
Figura 2.9 Modelo Corbata.....	54
Figura 6.1 Degtra Pantalla en Blanco	55
Figura 6.2 Degtra nueva ventana de Trabajo.....	55
Figura 6.3 Buscar el archivo de aceleración.....	56
Figura 6.4 Cargar el Archivo de Aceleración.....	56
Figura 6.5 Flitro Pasa Banda	57

Figura 6.6 Registro de Aceleración en Degtra.....	57
Figura 6.7 Calculo de Espectro de Fourier.....	57
Figura 6.8 Modo de exportar el Espectro de Fourier de Degtra a Excel.....	58
Tabla 6.1 Metodología de cálculo de desplazamientos críticos.....	58
Tabla 6.2 Resumen de Resultados Chicó.....	59
Figura 6.10 Espectro de Fourier Critica Chicó.....	60
Tabla 6.3 Tabla resumen Chicó registro Crítico.....	61
Tabla 6.4 Tabla resumen de resultados Cabrera.....	61
Tabla 6.11 Resumen de Resultados Cabrera.....	62
Figura 6.12 Espectro de Fourier Critica Cabrera.....	62
Tabla 6.5 Tabla resumen Cabrera registro Crítico.....	63
Tabla 6.6 Tabla resumen de resultados Corbata.....	63
Tabla 6.12 Resumen de Resultados Corbata.....	64
Figura 6.13 Aceleración Critica Corbata.....	64
Tabla 6.6 Tabla resumen Corbata registro Critica.....	65
Tabla 6.7 Metodología de estimación de la función de Carga.....	65
Figura 6.14 Definición de Caso de carga son peso propio.....	66
Figura 6.15 Modelo Chicó Cargado Por Nudos.....	67
Tabla 6.8 Deformaciones Máximas Personas por Nudo modelo Chicó.....	67
Tabla 6.9 Tabla resumen función de carga modelo Chicó.....	67
Figura 6.14 Definición de Caso de carga son peso propio.....	68
Figura 6.15 Modelo Cabrera Cargado Por Nudos.....	68
Tabla 6.8 Deformaciones Máximas Personas por Nudo modelo Cabrera.....	69
Tabla 6.10 Tabla resumen función de carga modelo Cabrera.....	69
Figura 6.14 Definición de Caso de carga son peso propio.....	70
Figura 6.15 Modelo Cabrera Cargado Por Nudos.....	70
Tabla 6.10 Deformaciones Máximas Personas por Nudo modelo Corbata.....	71
Tabla 6.11 Tabla resumen función de carga modelo Corbata.....	71
Tabla 6.12 Resumen Función de Carga.....	72
Figura 6.14 Modo de vibración gimnasio Chicó.....	73
Figura 6.15 Modo de vibración gimnasio Cabrera.....	74
Figura 6.15 Modo de vibración discoteca Corbata.....	74
Tabla 6.13 Comparación de Modos fundamentales de Vibración.....	75
Figura 7.1 Relación Humano Estructura gimnasio Chicó.....	76
Tabla 7.3 Resumen de valores Críticos Chicó.....	76
Figura 7.2 Relación Humano Estructura gimnasio Cabrera.....	77
Tabla 7.3 Resumen de valores Críticos Cabrera.....	77
Figura 7.3 Relación Humano Estructura Discoteca Corbata.....	78
Tabla 7.4 Resumen de valores Críticos Corbata.....	78
Tabla 7.5 Tomado de NSR -2011 Título B.....	78
Tabla 7.6 Resumen Función de Carga.....	79

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVOS.....	1
2. MARCO TEÓRICO	2
3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	13
3.1 GIMNASIO BODYTECH CHICÓ	14
3.2 GIMNASIO BODYTECH CABRERA	18
3.3 DISCOTECA LA CORBATA	21
4. MEDICIONES	24
4.1 GIMNASIOS	26
4.2 DISCOTECA	29
5. MODELACIÓN NUMÉRICA.....	31
5.1 CHICÓ	31
5.1 CABRERA.....	40
5.2 CORBATA.....	49
FIGURA 5.19 DEFINICIÓN DE EJES MODELO CORBATA	49
6. ANÁLISIS DE DATOS	55
6.1 PROCEDIMIENTO DE PROCESAMIENTO DE DATOS	55
6.2 TABLA RESUMEN DE RESULTADOS CRÍTICOS	59
6.3 ESTIMACIÓN DE CARGA INDIRECTAMENTE	65
6.4 CARGA ESTIMADA	71
6.5 MODOS DE VIBRACIÓN MODELO	73
7. CONCLUSIONES	76
7.1 GIMNASIO BODYTECH CHICÓ	76
7.2 GIMNASIO BODYTECH CABRERA	77
7.3 DISCOTECA CORBATA.....	77
7.4 COMPARACIÓN CON OTROS TRABAJOS SIMILARES:	78
8. REFERENCIAS.....	81