

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DINÁMICO DEL EDIFICIO DE FÍSICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS, CON EL FIN DE EVALUAR SU RESPUESTA SÍSMICA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título
de Ingeniero Civil
Por la Br. Luendy Ferreira

Caracas, Octubre de 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ANÁLISIS DINÁMICO DEL EDIFICIO DE FÍSICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS, CON EL FIN DE EVALUAR SU RESPUESTA SÍSMICA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Rodolfo Osers, Prof. Tomas Osers.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título
de Ingeniero Civil
Por la Br. Luendy Ferreira

Caracas, Octubre de 2003

FERREIRA P. LUENDY L.

**“ANÁLISIS DINÁMICO DEL EDIFICIO DE FÍSICA DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE CARACAS,
CON EL FIN DE EVALUAR SU RESPUESTA SÍSMICA”**

Tutor Académico: Prof. Rodolfo Osers, Prof. Tomas Osers, Tesis. Caracas, U.C.V.

Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2002

Palabras Claves: Análisis Sísmico, Sismo, Espectro, Derivas, Periodos

Resumen.

El Presente Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo continuar con el proceso sistemático de análisis de las obras de concreto armado ubicadas en la Ciudad Universitaria de Caracas, en este caso con el edificio de Física, perteneciente a la Facultad de Ingeniería.

La metodología empleada para el análisis dinámico del edificio de Física involucra la utilización del programa de análisis estructural de edificios ETABS versión 8 (structural analysis building system), en el cual establecida la geometría

y las características de cada uno de los miembros de la estructura, así como las especificaciones de las Normas COVENIN 1756 para Edificaciones Sismorresistentes y 2002 de Acciones Mínimas, se procede a realizar el análisis dinámico de la estructura, el cual se verifica con los requerimientos de la mencionada Norma COVENIN 1756.

Posteriormente se ofrecen las recomendaciones para mejorar la respuesta dinámica ante un sismo con el fin de aminorar los daños esperados, así como mantener operativa dicha edificación.

Otro de los objetivos es el de evaluar la capacidad resistente de una viga y una columna, tomadas arbitrariamente; utilizando el mismo programa y la normativa vigente, obteniendo así las características de diseño que deberían cumplir estos miembros, para ser comparadas con las establecidas en los planos.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Álvaro y Cristina, por ser las personas que me ofrecen su amor constantemente; a mi segundo papá, Rafael, por ser tan especial y haberme brindado tanto cariño; a mis hermanas, Alyerit y Albeline, ya que mis logros son para ellas; con mucho cariño a la memoria de: mi Tía Nieves, de Kenji, y de mi abuelita Teodora, ya que estarán siempre en mi recuerdo y en mi corazón; a todas aquellas personas que me apoyaron a lo largo de mi carrera.

Y muy especialmente se lo dedico a mi esposo, Hossmar, por ser mi apoyo incondicional, por darme la fuerza y el empuje necesario para seguir adelante, y por ser mi amor.

Luendy

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Prof. Rodolfo Osers por aceptar ser mi tutor; a todos los profesores que me transmitieron sus conocimientos a lo largo de la carrera, en especial al Prof. Antonio Güel y el Prof. Agustín Mazzeo, por ser excelentes profesores y personas.

Mi más sincero agradecimiento a mi esposo ya que hizo posible alcanzar mis metas, con su toda la ayuda y el apoyo brindado.

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Sismología y diseño sísmico.	4
1.2. Análisis Dinámico.	9
1.3. Control de desplazamientos.	11
1.4. Reducción de la vulnerabilidad.	12
1.4.1. Problemas comunes.	12
1.4.2. Diseño del reforzamiento.	13
1.5. ETABS Versión 8. Análisis y diseño integral de edificios.	17
CAPITULO 2: MARCO METODOLÓGICO	18
2.1. Características generales.	18
2.1.1. Ubicación del edificio.	18
2.1.2. Características estructurales y geométricas de la estructura.	19
2.1.3. Planos esquemáticos del edificio.	20
2.2. Metodología.	23
CAPITULO 3: CONTENIDO	25
3.1. Modelaje y Análisis Estructural.	25
3.2. Reforzamiento.	56
3.3. Evaluación de la capacidad resistente de una viga y una columna.	59
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64

INTRODUCCIÓN

La Universidad Central de Venezuela al ser declarada por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad, se ve en la necesidad de preservar, desarrollar y supervisar sus distintos espacios, por medio del Consejo de Preservación y Desarrollo de la Universidad Central de Venezuela (COPRED). Este Consejo dio origen a una serie de registros y evaluaciones a las edificaciones de La Ciudad Universitaria de Caracas.

El Trabajo Especial de Grado que a continuación se presenta, tiene la finalidad de continuar con este proceso sistemático, con un Análisis Dinámico al Edificio de Física, perteneciente a la Facultad de Ingeniería, para evaluar su respuesta sísmica, definiendo con esto las posibles soluciones para aminorar los daños y mantener operativa la estructura luego de la ocurrencia de un sismo.

El daño estructural sufrido por un edificio durante un sismo se deriva de la respuesta de la estructura al movimiento telúrico impuesto en la base. Las fuerzas dinámicas producidas se deben a la inercia de los diferentes elementos componentes de la estructura que vibran durante el sismo. Teniendo en cuenta la importancia de la estructura a estudiar en este trabajo, se ha considerado realizar un análisis dinámico espacial con tres grados de libertad por planta, que dará el efecto de las acciones sísmicas, caracterizadas por un espectro de diseño, sobre dicha estructura, con la intención de analizar dicha respuesta y dar las

recomendaciones para mejorarla, de acuerdo a los criterios dados en la Norma COVENIN 1756, para edificaciones sismorresistentes.

La metodología empleada para el análisis dinámico del edificio de Física involucra la utilización del programa de análisis estructural de edificios ETABS (structural analysis building system), en el cual establecida la geometría y las características de cada uno de los miembros de la estructura, así como las especificaciones de la Norma COVENIN 1756 para Edificaciones Sismorresistentes y la 2002 de Acciones Mínimas, se procede a realizar el análisis dinámico de la estructura, el cual se verifica con los requerimientos de la mencionada Norma COVENIN 1756.

Posteriormente se ofrecen las recomendaciones para mejorar la respuesta dinámica ante un sismo con el fin de aminorar los daños esperados, así como mantener operativa dicha edificación.

Otro de los objetivos es el de evaluar la capacidad resistente de una viga y una columna, tomadas arbitrariamente; utilizando el mismo programa y la normativa vigente, obteniendo así las características de diseño que deberían cumplir estos miembros para ser comparadas con las establecidas en los planos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la respuesta sísmica del edificio del Departamento de Física Aplicada de la Facultad de Ingeniería de la Ciudad Universitaria de Caracas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- I. Realizar el modelaje estructural del edificio del departamento de Física Aplicada de la Facultad de Ingeniería de la ciudad universitaria de Caracas utilizando un programa de cálculo.
- II. Realizar el análisis dinámico del edificio a través de un programa de calculo.
- III. Evaluar la desplazabilidad, modos de vibración y masas participativas del edificio.
- IV. Definir las posibles soluciones para mejorar la respuesta sísmica.
- V. Evaluar la capacidad resistente de una viga y una columna tomada arbitrariamente.

1.1. SISMOLOGÍA Y DISEÑO SÍSMICO:

La Sismología da a conocer lo que son los sismos, su origen y capacidad destructiva sobre los terrenos y las edificaciones de acuerdo con la magnitud e intensidad que presenten, así como los sitios del país más propensos a sufrirlos, con el fin de prepararnos para desarrollar técnicas de prevención frente a estos efectos devastadores.

Los sismos son súbitas liberaciones de la energía que se acumula bajo la corteza terrestre como consecuencia de las fuertes tensiones y presiones que ocurren en su interior y que se manifiestan en forma de vibraciones, desplazamientos y movimientos diversos de la superficie del terreno sobre el cual habitamos y construimos.

Los sismos son generados por distintos fenómenos, entre ellos, la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas y explosiones. Los sismos más severos y los más importantes para nosotros, son los generados por los movimientos de las grandes placas tectónicas en que está subdividida la corteza terrestre. Dando así, dos tipos de orígenes: volcánico y tectónico.

Al lugar de la corteza donde se presenta la súbita liberación de la energía generada por el rozamiento entre bloques, se le denominada Foco Sísmico o Hipocentro. El foco sísmico se convierte en el centro de la perturbación mecánica y desde allí se inicia la irradiación de la energía. Al punto de la superficie de la tierra ubicada directamente sobre el foco sísmico, se le denomina Epicentro del terremoto. Dentro de la tierra las perturbaciones mecánicas se propagan en forma de ondas sísmicas, originando los movimientos vibratorios del suelo, característico de los terremotos.

Las distintas ondas sísmicas producen en el suelo desplazamientos y aceleraciones de dirección, intensidad y duración distintas, con movimientos de trayectoria compleja. Estas ondas se clasifican en dos grandes grupos:

- Ondas de volumen: Originadas en el hipocentro y se propagan a través del interior de la tierra, dando lugar a las componentes de alta frecuencia de los movimientos fuertes de la tierra. Las velocidades de estas ondas están entre 3 y 13 Km / seg.
- Ondas superficiales: al alcanzar la superficie las ondas de volumen, originan ondas superficiales de velocidad menor. La velocidad de propagación de estas ondas es de 1.5 a 5 Km / seg. en suelos compactos y rocosos, y de 0.5 a 1.5 Km / seg. en terrenos no consolidados.

Los sismos pueden dar como consecuencia grandes desastres, especialmente donde no se han tomado medidas preventivas relacionadas con la resistencia sísmica de las edificaciones.

Al cuantificar la fuerza del sismo y calificar el grado de daño posible, se usan dos medidas conocidas como Intensidad y Magnitud del sismo.

La intensidad se referencia siempre a los efectos o daños causados sobre las edificaciones, es por lo tanto una escala subjetiva, y depende de la distancia al área epicentral.

La intensidad se mide con la escala llamada de Mercalli Modificada, la cual se basa en calificar la sensación de las personas durante el sismo y en la observación de los daños causados por el sismo en las construcciones, esta escala va del I al XII.

La magnitud es la medida de la cantidad de energía liberada en el Hipocentro o foco sísmico. La magnitud clasifica al sismo en forma cuantitativa en relación con la violencia del movimiento del suelo, según una escala logarítmica, independiente de la distancia, lograda a través de la medición de la amplitud de las ondas sísmicas, usando instrumentos llamados sismógrafos.

Un sismógrafo es un instrumento que tiene un plomo pesado suspendido sobre un papel que está colocado en el suelo. Cuando las ondas de los terremotos mueven el suelo, el plomo se queda sin movimiento a causa de su peso y una pluma que está conectada al plomo marca en el papel el movimiento del suelo. Para fines de ingeniería los más importantes son los acelerógrafos que proporcionan la variación de aceleraciones con el tiempo en el lugar donde están

colocados, estos aparatos colocados en los edificios permiten determinar la respuesta de estos a la acción sísmica, contienen sensores dispuestos de manera de registrar la aceleración del terreno en tres direcciones ortogonales (dos horizontales y una vertical). En el diseño de estructuras se emplea el espectro de aceleración por ser el más exacto, ya que los demás se obtienen por derivación.

La flexibilidad de la estructura ante el efecto de las fuerzas de inercia hace que ésta vibre de forma distinta a la del suelo mismo, las fuerzas que se inducen a la estructura están en función de la intensidad del movimiento del suelo y de las propiedades de la misma. Por una parte las fuerzas son proporcionales a la masa del edificio, y por otra son función de algunas propiedades dinámicas que definen su forma de vibrar. El grado de amplificación de estas fuerzas depende del amortiguamiento propio del edificio y la relación entre el período de la estructura y el período dominante del suelo.

Las características esenciales de la respuesta, de las estructuras ante un sismo, se llegan a estimar con aceptable precisión al modelar la estructura mediante un sistema de un grado de libertad con período igual al fundamental de la estructura. Una estructura real es más compleja que un sistema de un grado de libertad y su respuesta es más difícil de estimar, ya que el comportamiento deja de ser lineal, la rigidez tiende a bajar y el amortiguamiento tiende a aumentar. La magnitud de estas variaciones depende y es muy distinta para diferentes tipos de sistemas y de materiales. Una fuente importante de cambio en las propiedades dinámicas de las construcciones es el efecto de elementos no estructurales, es

decir de los recubrimientos y paredes divisorias que para niveles bajos de sollicitación pueden contribuir significativamente a la rigidez, pero que después se agrietan o se separan de la estructura principal.

La ductilidad es una propiedad muy importante en una estructura que debe resistir efectos sísmicos, ya que elimina la posibilidad de una falla de tipo frágil y brinda amortiguamiento adicional.

Se pueden establecer como objetivos del diseño sísmico:

- Evitar que se exceda el estado límite de servicio para sismos de intensidad moderada que pueden presentarse varias veces en la vida de la estructura.
- Que el estado límite de integridad estructural no se exceda para sismos severos que tienen una posibilidad significativa de presentarse en la vida de la estructura.
- El estado límite de supervivencia no debe excederse ni para sismos extraordinarios que tengan una muy pequeña probabilidad de ocurrencia.

Estos objetivos no se logran con sólo diseñar la estructura para que sea capaz de resistir un conjunto de fuerzas laterales, debe darse a la estructura la habilidad de disipar de la manera más eficiente la energía introducida por el movimiento del terreno, pudiendo permitir deformaciones inelásticas que implican daño, siempre y cuando no estén cercanos a la falla estructural.

En conclusión, la estructura debe poseer una rigidez adecuada para limitar sus desplazamientos laterales y para proporcionarle características dinámicas que eviten amplificaciones excesivas de la vibración. Debe poseer, además, resistencia a carga lateral suficiente para absorber las fuerzas de inercia inducidas por la vibración. Y por último que tenga la capacidad de disipar energía por medio de deformaciones inelásticas, es decir dándole ductilidad.

1.2. ANÁLISIS DINÁMICO:

El Análisis Dinámico o Análisis Modal, se basa en la superposición modal donde las acciones sísmicas se relacionan a un espectro de diseño. En la Norma COVENIN 1756, Edificaciones Sismorresistentes, entre los métodos de análisis, hay tres tipos de análisis dinámicos, el plano, el espacial y el espacial con diafragma flexible. El análisis a usar en este trabajo es el Análisis Dinámico Espacial, ya que este es el que realiza el programa a utilizar (ETABS).

El análisis dinámico espacial con tres grados de libertad por nivel evalúa la respuesta dinámica de las estructuras donde las coordenadas de la respuesta modal son los desplazamientos horizontales según las direcciones principales en planta, y la rotación de cada nivel.

El análisis de las estructuras ante una excitación sísmica debe tener en cuenta todos los grados de libertad necesarios para representar los diferentes

modos de vibración, las deformaciones y las fuerzas inerciales significativas que puedan presentarse en el espacio.

Este método se plantea en forma matricial, con matrices de rigidez, que bajo la hipótesis de comportamiento elástico, facilitan el análisis dinámico de los modelos tridimensionales con cualquier distribución de masas y rigideces. Pero en la actualidad se cuentan con diversos programas de computación basados en el método de elementos finitos, que nos ahorra gran cantidad de trabajo en la preparación de datos e interpretación de los resultados.

Un espectro de respuesta es un gráfico que muestra la variación de los valores máximos de los parámetros de una respuesta particular de desplazamiento, velocidad, aceleración, esfuerzos, etc. según la frecuencia o el período de un sistema lineal de un solo grado de libertad, sujeto a una determinada función de carga específica. En la respuesta de la estructura sujeta a fuerzas sísmicas la función de excitación se relaciona con el acelerograma. La Norma COVENIN 1756, tipifica la forma de los espectros de respuesta en “formas espectrales normalizadas”, considerando el terreno de fundación.

El espectro de diseño, incorpora el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos adoptado. Éste factor de reducción lo que hace es dividir las ordenadas del espectro de respuesta elástica originando el de diseño, su valor está tipificado en la Norma COVENIN 1756 para Edificaciones Sismorresistentes.

1.3. CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS:

Al verificar se debe garantizar que la estructura resista los efectos de las acciones sísmicas, así como también limitar los daños de elementos no estructurales, escaleras, juntas, entre otros, como consecuencia de desplazamientos laterales excesivos.

La Norma COVENIN 1756 refleja como objetivos del control de los desplazamientos la protección de vidas, control de daños y el limitar los desplazamientos entre niveles, con el fin de minimizar que se excedan las capacidades de deformación inelástica de los miembros.

La deriva es la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos, y ésta entre la altura que separa a ambos niveles es lo que la Norma COVENIN 1756 limita:

TIPO Y DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	EDIFICACIONES		
	GRUPO A	GRUPO B1	GRUPO B2
Susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.012	0.015	0.018
No susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.016	0.020	0.024

Cabe destacar que estos límites deben satisfacerse en cada piso.

1.4. REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD:

La evaluación del estado de una construcción existente puede hacer surgir serias dudas sobre la capacidad de la misma para soportar eventos sísmicos. Es necesario el reforzamiento de edificios existentes para efectos de reducir su vulnerabilidad, previamente a la ocurrencia del evento.

1.4.1. PROBLEMAS COMUNES:

A partir de un diagnóstico realizado, pueden determinarse las causas de debilidad de la estructura. La lista siguiente enuncia algunas de dichas causas:

Poca capacidad global de disipación de energía. Este problema es usual en edificios construidos bajo normas de diseño que no contemplan la resistencia a sismos. En ellos se observan grandes separaciones de estribos en vigas y columnas, así como poco refuerzo a compresión en vigas en las zonas cercanas a los nodos, y ausencia de confinamiento de éstos.

Poca resistencia en exceso de la requerida para la atención de las cargas de gravedad. Esto es lógico en diseños realizados solamente para la atención de dichas cargas, al menos en lo que se refiere a vigas. En cuanto a columnas, la situación puede ser más o menos crítica debido a la complejidad de la interacción momento-fuerza axial.

Errores en el modelo estructural. Pueden encontrarse errores e inconsistencias de diverso orden en la concepción original de la estructura sometida a cargas verticales. Entre ellos pueden estar el haber ignorado los momentos de flexión en el diseño de columnas, la concepción de las vigas como simplemente apoyadas al tiempo con su construcción como elementos continuos, etc.

Deficiencia de rigidez y resistencia en una o dos direcciones. En la concepción del diseño exclusivamente para cargas de gravedad con losas en una dirección, no resulta necesaria la presencia de vigas en la dirección de trabajo de la losa. Por esta razón son omitidas frecuentemente. Esto hace que la estructura sea particularmente flexible y débil en este sentido. En el caso de losas en dos direcciones, por otra parte, el problema puede ser mayor si éstas han sido construidas sin vigas, ya que los problemas mencionados se dan en las dos direcciones, y debido a que las losas no están preparadas usualmente para soportar los esfuerzos de corte derivados del sismo.

1.4.2. DISEÑO DEL REFORZAMIENTO:

De acuerdo con lo anterior, la intervención de la estructura debe buscar la reducción de estos problemas, a través de mecanismos necesarios, los cuales pueden clasificarse en cuatro grupos:

1. Aumento de la capacidad global de disipación de energía.
2. Aumento de la resistencia.
3. Disminución de la concentración de energía en planta y en altura.

4. Rigidización.

El análisis y el diseño del modelo estructural de la estructura reforzada debe realizarse en consideración clara de aspectos como los siguientes:

- El impacto de la variación de rigidez sobre la respuesta espectral. En el espectro de aceleraciones la variación de la rigidez puede afectar significativamente la respuesta global de la estructura.
- La respuesta de los elementos viejos que no hayan sido intervenidos, pero cuya conexión con el diafragma los lleve a intervenir en la respuesta global de un piso.
- El impacto del aislamiento de muros de relleno sobre la rigidez de cada piso.
- Los elementos adicionales que deben ser construidos en el caso de creación de juntas de movimiento sísmico en los diafragmas.
- La interrelación entre los mecanismos de rigidización, aumento de resistencia y ductilidad.
- El cambio de esfuerzos en el suelo y la cimentación.
- La relación del sistema constructivo con el mantenimiento del uso del edificio.
- El costo de la intervención.
- Los aspectos arquitectónicos, funcionales y estéticos del reforzamiento.

Los sistemas usuales de reforzamiento de estructuras suelen recurrir a la inserción de los siguientes elementos adicionales:

- *Muros en el exterior del edificio.* Esta solución se emplea generalmente cuando las limitaciones de espacio y de continuidad de uso del edificio hacen preferible el trabajo en la periferia. Para asegurar la transmisión de esfuerzos por medio del diafragma a los muros se emplean vigas colectoras en los bordes de la losa. No es recomendable para edificios muy largos.
- *Contrafuertes.* A diferencia de los elementos anteriores, su colocación es perpendicular a la cara del edificio. Además de aportar rigidez, son útiles para tomar el momento de vuelco en edificios esbeltos. Debido a las limitaciones de espacio no siempre son factibles.
- *Muros en el interior del edificio.* Cuando las posibilidades de trabajo en el interior del edificio lo permitan, son una alternativa de necesaria consideración en edificios largos, en los cuales la flexibilidad del diafragma deba ser reducida. Se insertan generalmente por medio de perforaciones en los diafragmas, a través de las cuales pasan las barras de refuerzo.
- *Muros de relleno de pórticos.* Tanto en el interior como en el exterior de edificios, una solución práctica al problema de rigidez y resistencia es el relleno de vanos de pórticos con muros de concreto o de mampostería reforzada. Debido a la unión con la columna, los esfuerzos en éstas cambiarán sustancialmente. Si el refuerzo de la misma es suficiente para el nuevo estado, la unión con el muro podrá realizarse solamente por medio

de pasadores soldados. En caso contrario, se debe construir un encamisado de la columna monolítico con el muro.

- *Pórticos arriostrados.* Otra solución frecuente consiste en incluir varios pórticos de acero con diagonales anclados fuertemente a los diafragmas, como sustituto de los muros de rigidez. Igualmente, pueden construirse solamente las diagonales unidas a los pórticos existentes cuando éstos demuestran ser resistentes ante las fuerzas demandadas por ellos con el nuevo sistema, en especial, ante las fuerzas axiales en las columnas y de corte en los nudos.
- *Encamisado de columnas y vigas.* Empleado para sistemas de pórtico, este sistema se realiza generalmente sobre una gran parte de las columnas y vigas de un edificio, con el fin de aumentar tanto su rigidez, resistencia y ductilidad. Los sistemas de encamisado, en la mayoría de los casos, se diferencian básicamente en la manera como se une el recubrimiento nuevo a la columna existente.
- *Construcción de un nuevo sistema aporticado.* En ocasiones es posible llevar a cabo una reestructuración total adosando la antigua estructura a nuevos pórticos perimetrales externos. Usualmente se combina con la incorporación de muros estructurales internos perpendiculares al sentido longitudinal de los pórticos.

1.5. ETABS Versión 8. Análisis y Diseño Integral de Edificios:

La versión 8 del ETABS está totalmente integrada, realiza análisis basado en objetos, diseña, optimiza y dibuja.

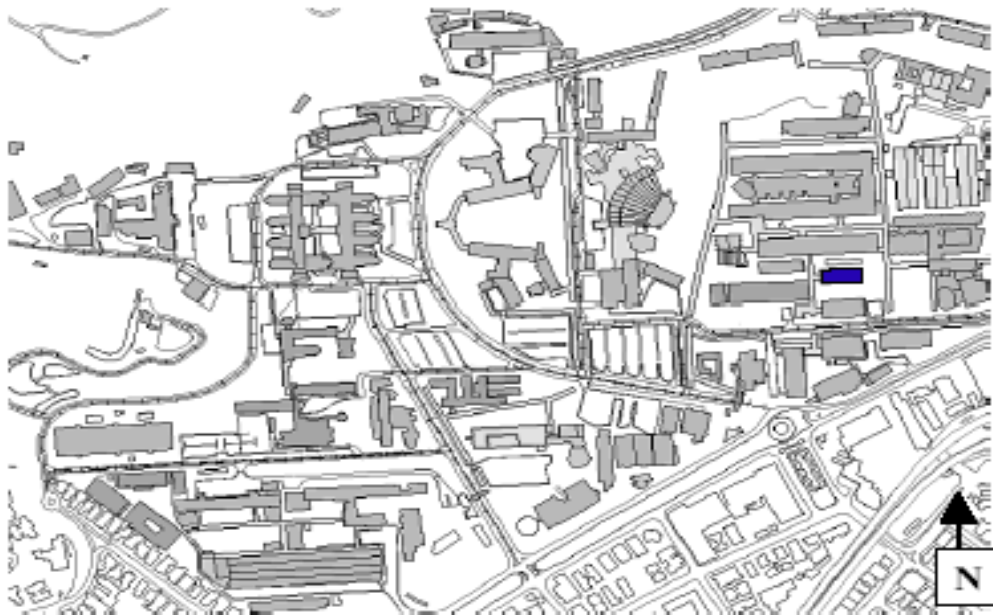
Posee una interface grafica basada en objetos que la hace versátil e intuitiva, potenciada por nuevas técnicas numéricas que permite a los ingenieros crear diseños completos, elaborando planos y cuantificando materiales para la construcción, sin estar limitado por el tamaño del elemento y satisfaciendo los requerimientos de estabilidad, rigidez y deformación.

Los nuevos y sofisticados métodos de análisis del ETABS resuelven muchos aspectos del diseño de edificios en los cuales los Ingenieros Estructurales se han esforzado por décadas, tales como: Cálculo del Diagrama de Esfuerzo Cortante en Losas y envolvente de fuerzas, Modelación de Estructuras de Estacionamiento, Rampas rectas y curvas, Modelación de deformación en zonas de juntas, Efectos de secuencia de carga durante el proceso constructivo. El modelo integrado puede incluir Pórtico resistentes a momentos, brazos rígidos, sistemas reticulados, pórticos con secciones reducidas de vigas, placas laterales, losas rígidas y flexibles, Techos inclinados, Rampas y estructuras de estacionamientos, mezaninas, edificios con torres múltiples y sistemas de diafragmas conectados con sistemas complejos de pisos, compuestos o de acero y mucho más.

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES:

2.1.1. UBICACIÓN DEL EDIFICIO:

El edificio de Física de la Facultad de Ingeniería ubicado en la Ciudad Universitaria de Caracas, colinda por el norte con el edificio de Aulas de la Escuela Básica, por el sur con la Escuela de Ingeniería Eléctrica, en el este con la Cancha de la Facultad de Ingeniería, y en el oeste con la Escuela de Ingeniería de Petróleo. En el siguiente plano esquemático, se aprecia su ubicación señalada como la estructura resaltada en color azul.



Plano de la Ciudad Universitaria de Caracas

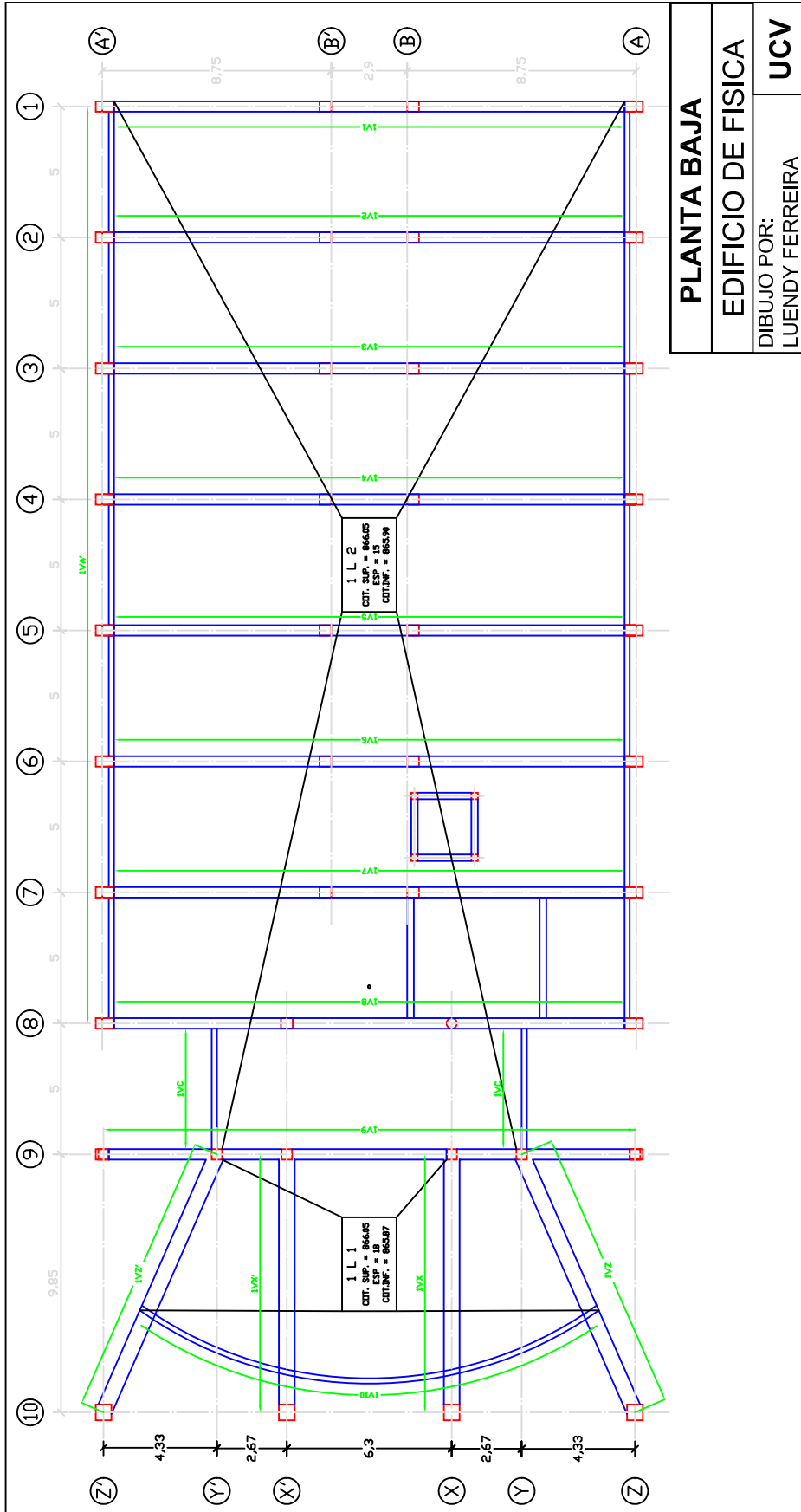
2.1.2. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y GEOMÉTRICAS DE LA ESTRUCTURA:

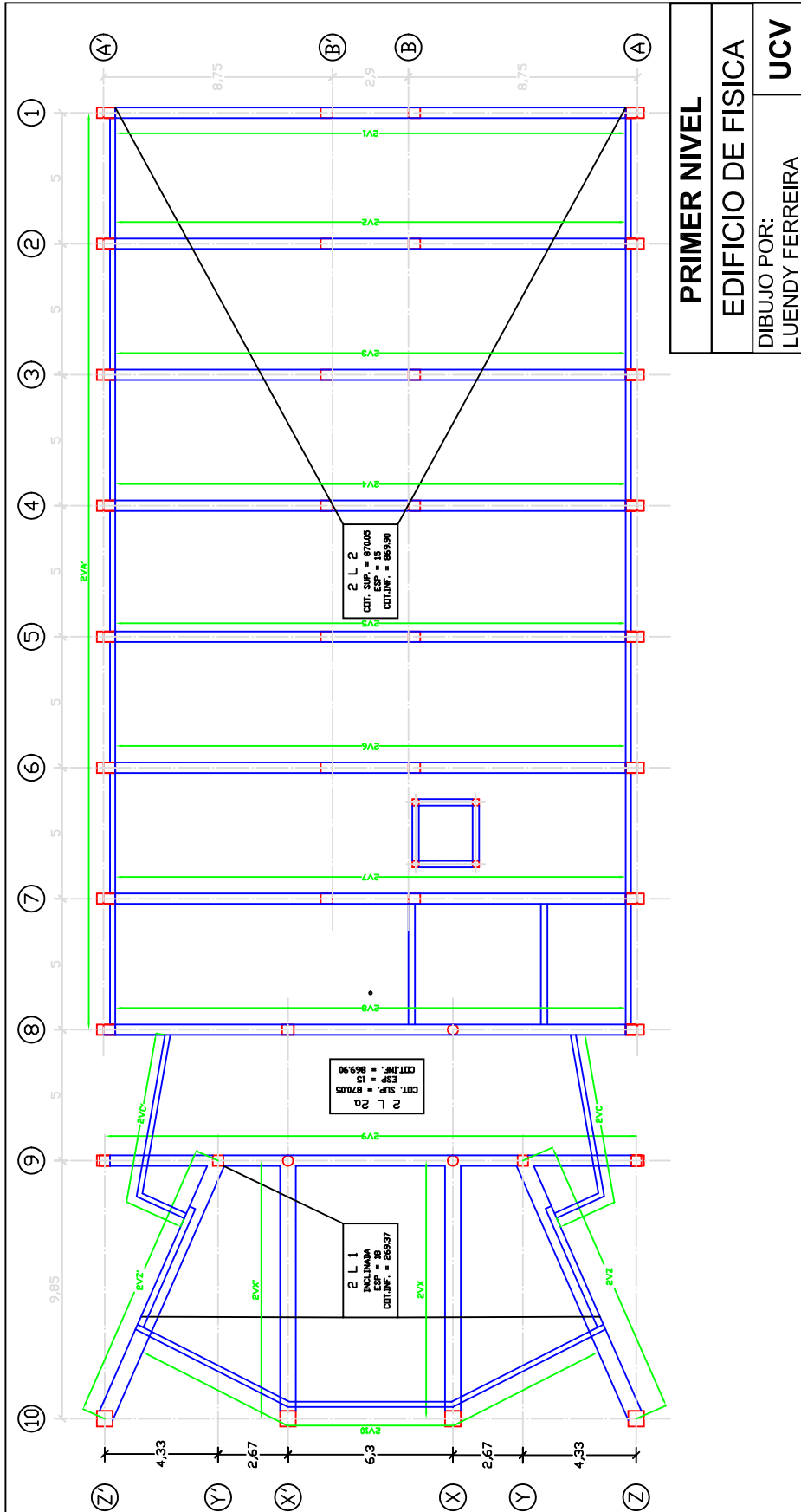
La estructura es de tres niveles en concreto armado para uso educacional con un área de implantación por nivel de aproximadamente 800 m², definida por elementos principales (columnas y vigas), muros y diafragmas rígidos generados mediante una losa maciza.

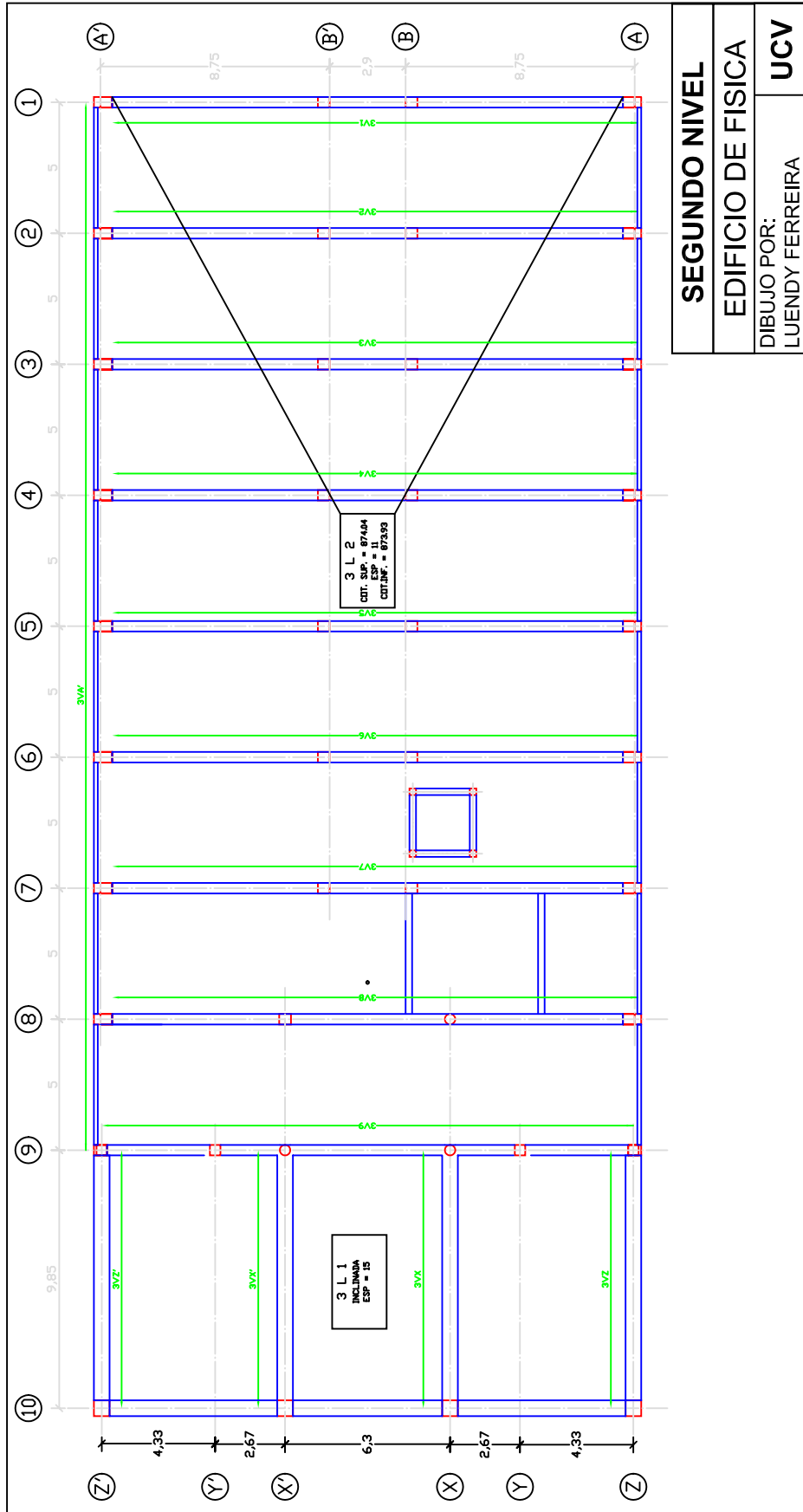
Las columnas son de secciones rectangulares y una de sección circular, en cuanto a los muros, están los que soportan la losa inclinada del auditorio, los de las escaleras, y una pantalla que conforma la fachada lateral sur.

2.1.3. PLANOS ESQUEMÁTICOS DEL EDIFICIO:

A continuación se ofrecen los planos de las plantas que conforman el edificio de Física, Planta Baja, Primer nivel y segundo nivel:







SEGUNDO NIVEL	
EDIFICIO DE FISICA	
DIBUJO POR:	UCV
LUENDY FERREIRA	

2.2. METODOLOGÍA:

Las actividades desarrolladas para la realización del presente Trabajo Especial de Grado pueden ser englobadas en los siguientes puntos:

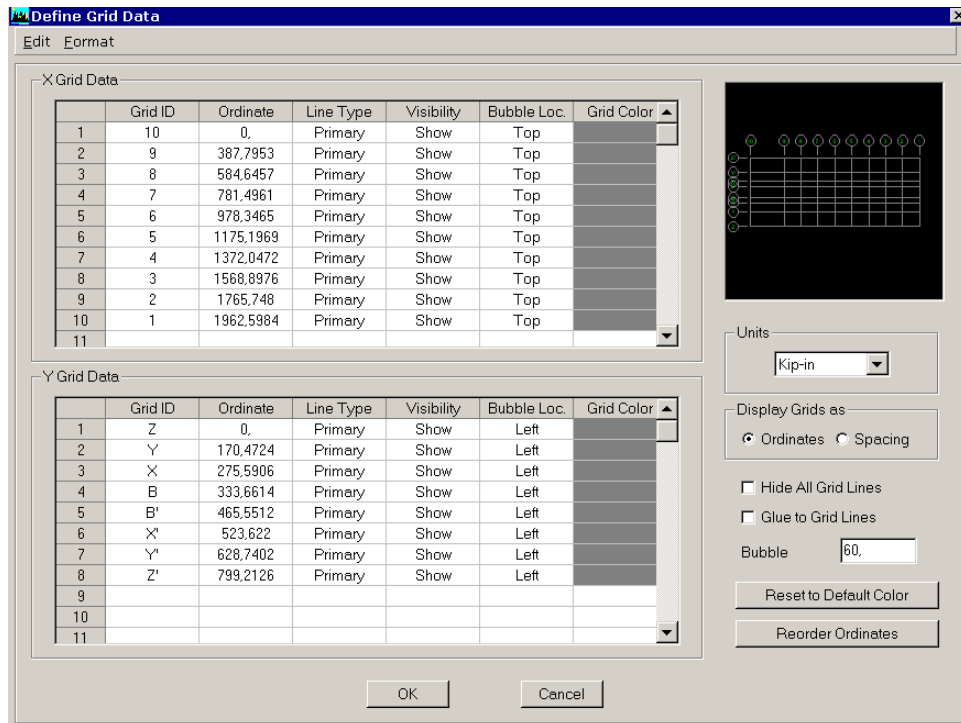
- Se realizó una recopilación bibliográfica acerca de la teoría para la realización de un Análisis Dinámico.
- Se organizó este material para la realización del Marco Teórico.
- Se realizó una recopilación de los planos arquitectónicos y estructurales del Edificio.
- Elaboración de planos esquemáticos de cada una de las plantas.
- Análisis Dinámico Espacial con tres grados de libertad por nivel, utilizando el programa de Análisis y Diseño de Edificios ETABS Versión 8.
- Verificación de los desplazamientos comparándolos con los valores límites tipificados para el Control de los Desplazamientos de la Norma COVENIN 1756 para Edificaciones Sismorresistentes.

- Ofrecer las recomendaciones para mejorar la respuesta dinámica ante un sismo con el fin de aminorar los daños esperados, así como mantener operativa dicha edificación.
- Evaluar la capacidad resistente de una viga y una columna, tomadas arbitrariamente; utilizando el mismo programa y la normativa vigente, obteniendo así las características de diseño que deberían cumplir estos miembros para ser comparadas con las establecidas en los planos.

3.1. MODELAJE Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL:


Para realizar el modelaje de la estructura se seleccionó el programa de Análisis Estructural CSI-ETABS v8 dada su orientación hacia el cálculo y análisis de Edificaciones. El origen de coordenadas se estableció en la intersección del eje Z con el eje 10, tomándose como X la dirección este-oeste de la edificación y como Y la dirección Norte-Sur. Se definieron también 5 Niveles BASE, STORY1, STORY2, STORY3, STORY3-1. Los cuales corresponden respectivamente a Planta Baja, Piso 1, Piso 2, Techo y el Nivel Superior de la losa inclinada del auditorio.

Se inicio un modelo vacío, sólo con los sistemas de ejes y posteriormente se definieron los ejes estructurales de acuerdo a los planos obtenidos, dicha definición de los ejes, incluye la identificación de cada eje, así como de su progresiva con respecto al eje de coordenadas como se muestra a continuación:



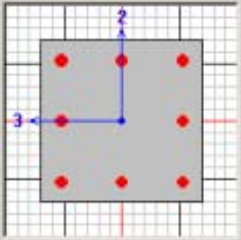

Seguidamente se procedió a definir las propiedades del concreto, así como del acero de refuerzo. De acuerdo a los planos la resistencia del concreto f'_c es igual a 210 kg/cm^2 y f_y es igual a 2800 kg/cm^2 . Sobre la base de este valor de f'_c se determinó el modulo de elasticidad del concreto E_c el cual es igual a: 218820 kg/cm^2 . Estos valores fueron cargados en el programa a través de la ventana siguiente:

Material Property Data

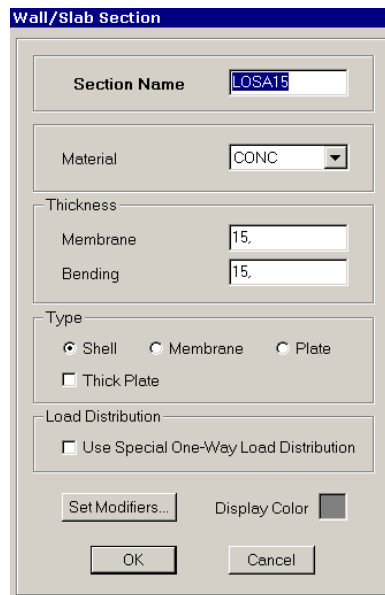
Material Name	CONC	Display Color	Color	
Type of Material		Type of Design		
<input checked="" type="radio"/> Isotropic <input type="radio"/> Orthotropic		Design: Concrete		
Analysis Property Data		Design Property Data (ACI 318-99)		
Mass per unit Volume	2.448E-06	Specified Conc Comp Strength, f _c	210.	
Weight per unit Volume	2.403E-03	Bending Reinf. Yield Stress, f _y	2800.	
Modulus of Elasticity	218820	Shear Reinf. Yield Stress, f _{ys}	2800.	
Poisson's Ratio	0.2	<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete		
Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06	Shear Strength Reduc. Factor		
Shear Modulus	91175			
OK		Cancel		

Una vez definidos los ejes estructurales y las propiedades de los materiales se procedió a definir todas las secciones transversales de los elementos (vigas y columnas) que componen la estructura.

Rectangular Section

Section Name		C40x40	
Properties	Property Modifiers	Material	
Section Properties...	Set Modifiers...	CONC	
Dimensions			
Depth (13)	40.		
Width (12)	40.	Display Color 	
Concrete			
Reinforcement...			
OK		Cancel	

De igual manera las secciones transversales de las losas y muros que conforman la estructura, identificando las losas de acuerdo a su espesor, y los muros, de acuerdo a su uso, donde MUROE corresponde a los muros de escaleras y MURO al resto de los muros.



Wall/Slab Section

Section Name: LOSA15

Material: CONC

Thickness

Membrane: 15.

Bending: 15.

Type

Shell Membrane Plate

Thick Plate

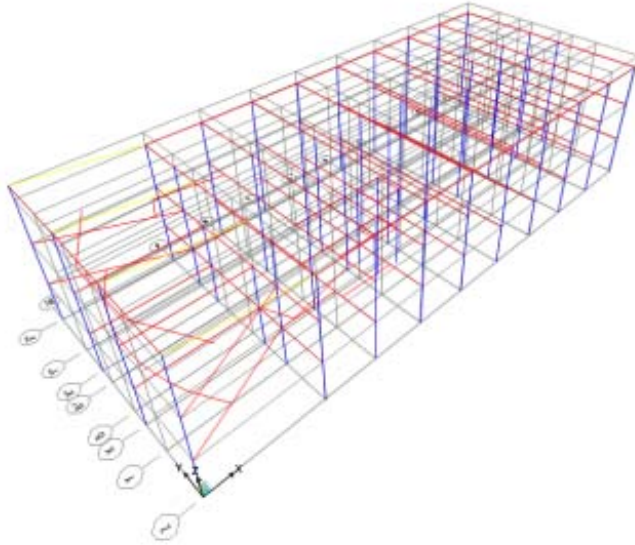
Load Distribution

Use Special One-Way Load Distribution

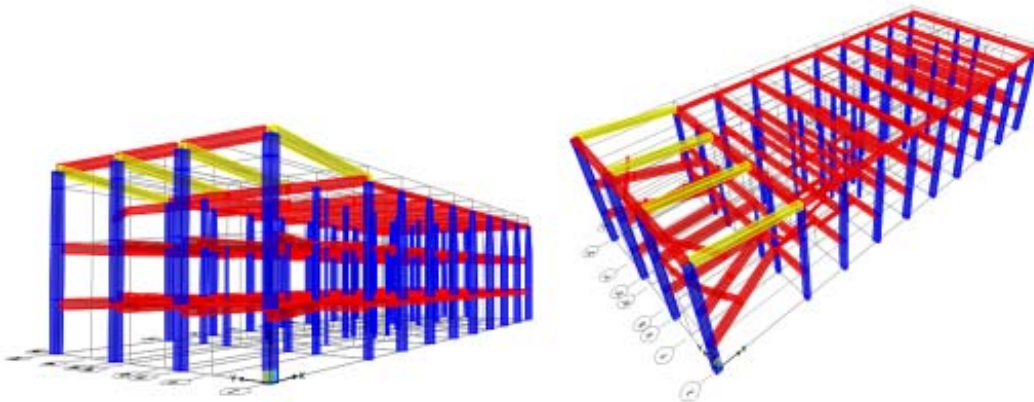
Set Modifiers... Display Color [Color Swatch]

OK Cancel

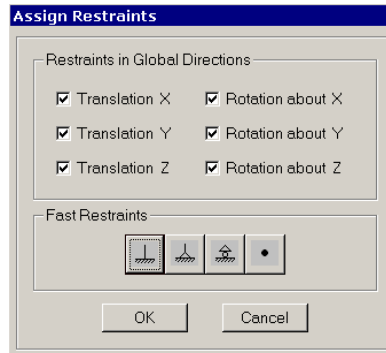
Establecidas todas las propiedades iniciales se procedió a dibujar todos los elementos vigas y columnas que componen la estructura.



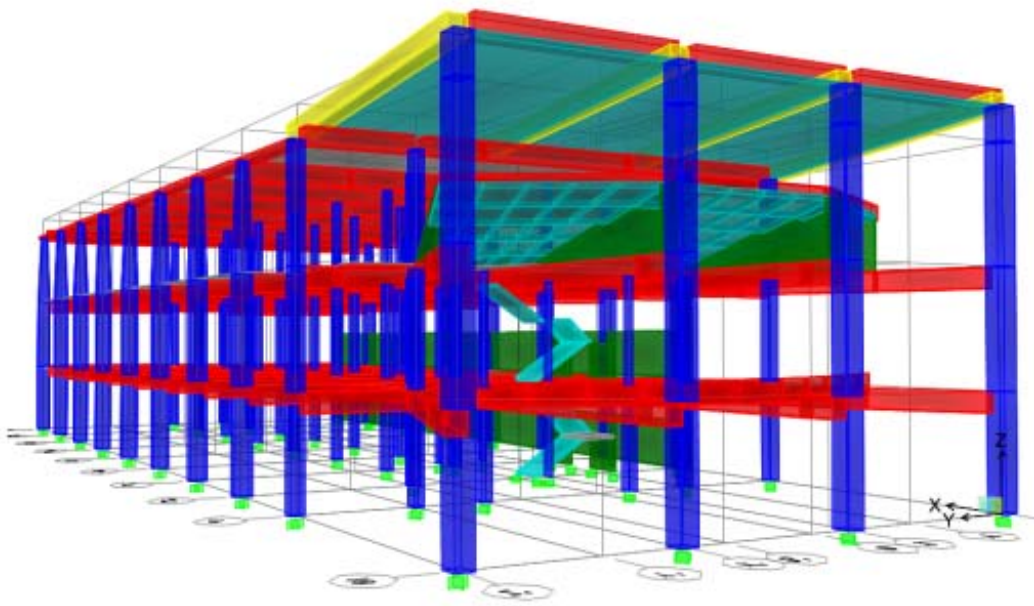
Donde fue necesario se definieron puntos de inserción distintos al normal para definir vigas invertidas, vigas fuera del eje central, etc. A continuación se muestra la vista de la estructura mostrando la extrusión de los elementos a su tamaño real.

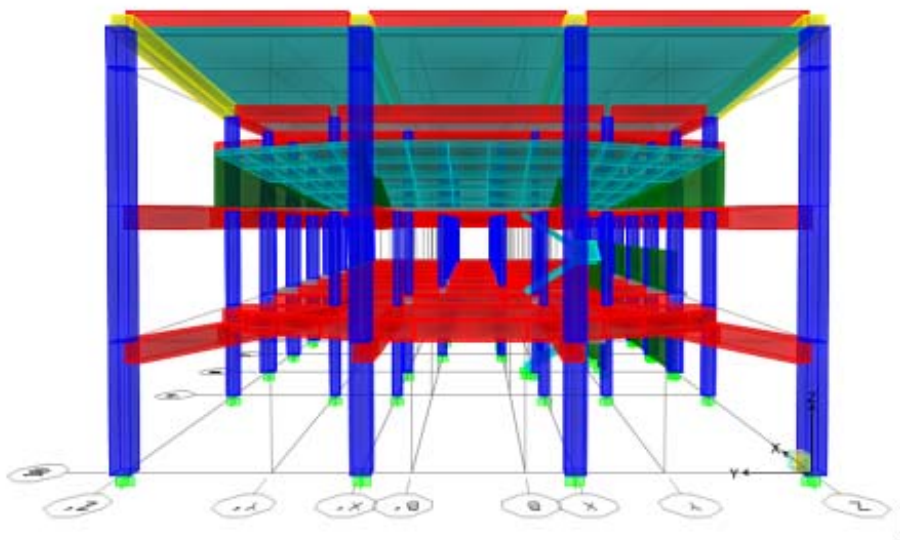
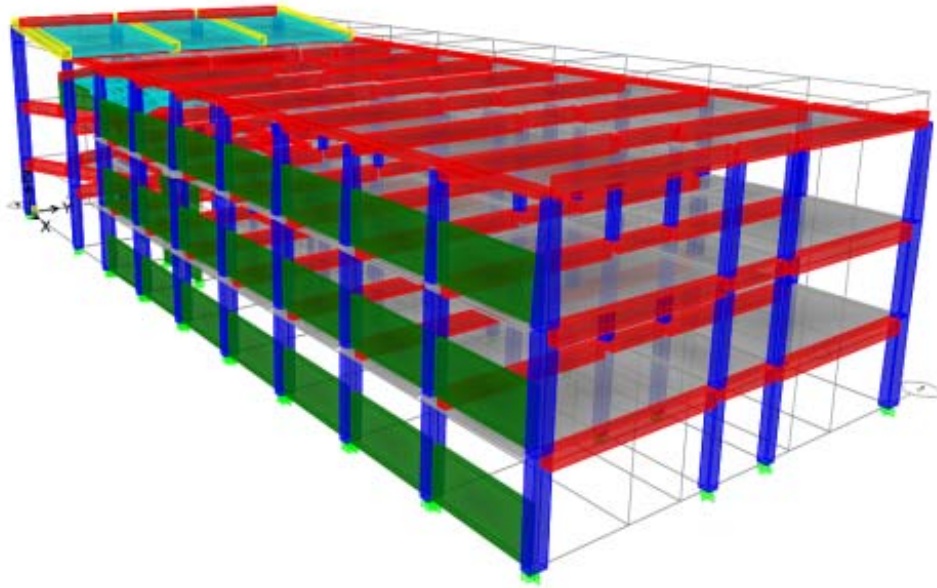


Seguidamente se definieron las restricciones para las columnas, asignando empotramientos a todas ellas:

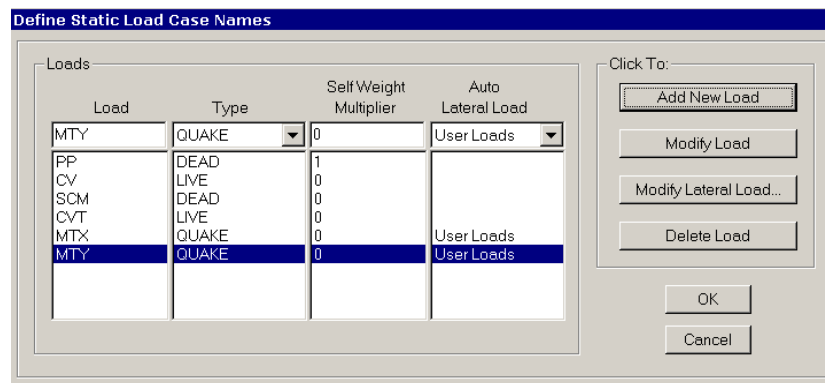


Se dibujaron las losas de la estructura, incluyendo muros de escaleras, pantallas laterales, muros que sostienen el auditorio, y losa de auditorio. Con estos elementos agregados se procedió a agregar diafragmas rígidos a cada nivel obteniéndose así el modelo final:





Dibujada toda la estructura se procedió a definir los casos de carga estáticos, los cuales son: CV para Carga Viva, CVT para Carga Viva en Techo, PP para el peso propio de la estructura y SCM para la Sobrecarga muerta producto de tabaquerías, acabados, etc. También se agregaron Mtx y Mty correspondientes a los momentos torsores estáticos adicionales requeridos por la norma.



Luego de esto se procedió a definir los casos dinámicos para lo cual fue necesario realizar el espectro correspondiente. Para realizar el espectro se utilizaron los valores de la Norma COVENIN 1756 Revisión 2001 de Edificaciones Sismorresistentes.

Dado que la edificación se encuentra en la Zona de Caracas se asignó un valor de A_0 igual a 0.3 de acuerdo a la Tabla 4.1 de la referida norma. Según su

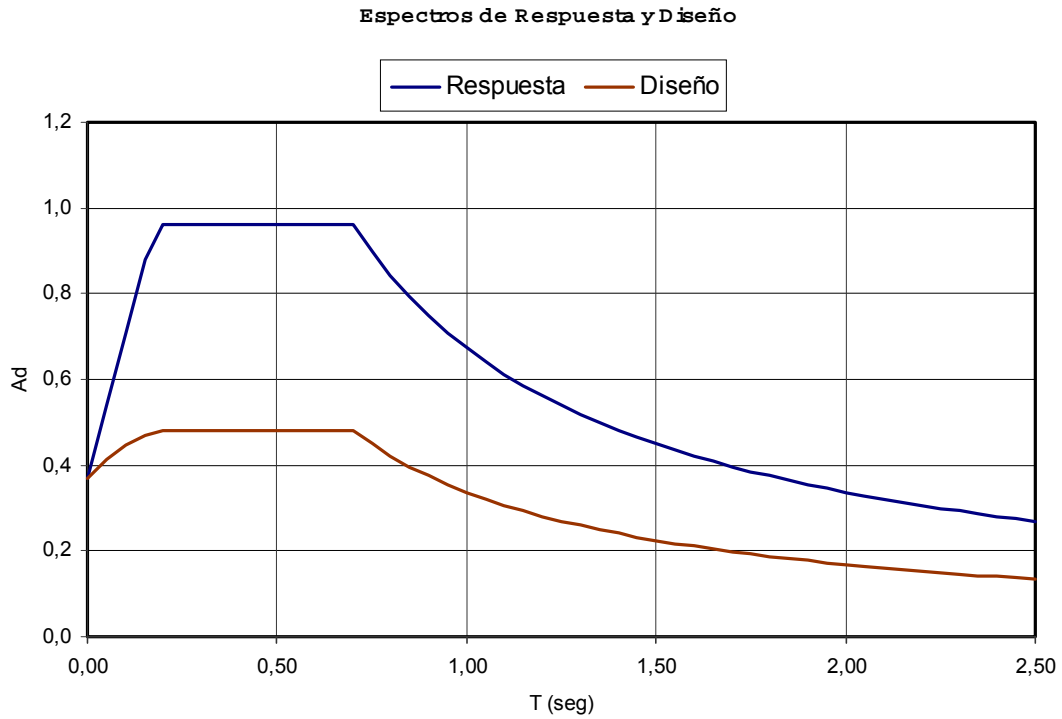
uso la edificación clasifica en el Grupo A como Edificaciones Educativas, por lo que se asigna un valor de α igual a 1.3.

Dado que no se disponía de información referente al suelo el mismo fue asignado sobre la base de consultas con profesores del Departamento de Estructuras así como sobre la revisión de otros Trabajos Espaciales de Grado realizados con anterioridad sobre edificaciones de la Ciudad Universitaria. Se seleccionó entonces como material un Suelo firme / medio denso y de usando la Tabla 5.1 de la Norma 1756, la forma espectral queda establecida como S2 con un factor ϕ igual a 0.95.

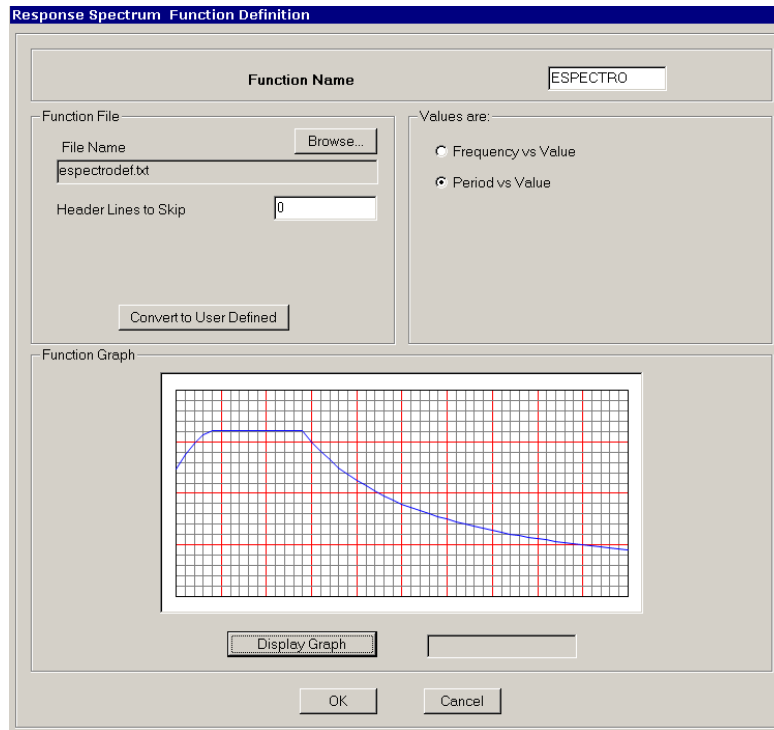
En cuanto al factor de reducción R la Norma COVENIN 1756 establece en su comentario del Capítulo 12 “Edificaciones Existentes” que el nivel de diseño de la estructura de acuerdo a la clasificación actual se debe asignar de acuerdo a la información disponible de cómo fue construida la edificación, ofreciendo para ello una tabla como guía. Usando la Tabla C-12.1 se determina que la estructura clasifica actualmente en Nivel de Diseño 1 y por lo tanto el Factor R queda establecido como 2. Como lo comenta la norma, estos valores bajos de R se deben a que no se puede asegurar que la estructura tenga una capacidad de absorción y disipación de energía como se espera para valores más altos de R.

Usando la Tabla 7.1 y 7.2 de la Norma COVENIN 1756, se establecieron los valores de T^* igual a 0.7, β igual 2.6 y p igual a 1. T_0 fue calculado como 0.175 y

T^+ resultó igual a T_0 dado que su valor es menor a este. Usando todos estos datos se realizó el espectro de acuerdo al capítulo 7.2 de la Norma COVENIN 1756.



Los valores de este espectro fueron cargados al programa como una función de espectro.



Con el espectro cargado se definieron los 3 casos dinámicos SX, SY y SZ, correspondientes a los sismos en cada una de dichas direcciones. Para SZ se utilizó un valor de A_0 igual a 0.7 de A_0 para casos horizontales, por lo que quedo establecido en 0.21.

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name

Structural and Function Damping

Damping

Modal Combination

CQC SRSS ABS GMC

f1 f2

Directional Combination

SRSS Orthogonal SF

ABS

Modified SRSS (Chinese)

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1	ESPECTRO	9,81
U2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
UZ	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Excitation angle

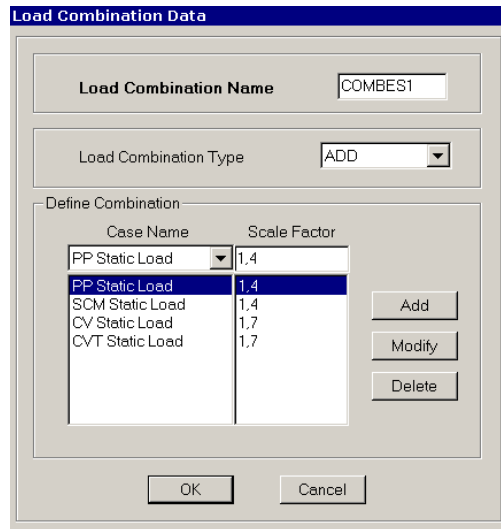
Eccentricity

% Eccentricity

Override Eccentricities

El valor de amortiguamiento fue colocado en 5% como lo establece la norma para los valores del espectro y la aceleración de gravedad g fue colocada en 9.81 m/s^2 . Se seleccionó la combinación modal CQC (Complete Quadratic Combination) o Combinación Cuadrática Completa según lo requiere la norma.

Luego se procedió a definir las combinaciones las cuales quedaron de la manera siguiente:



$$\text{COMBES1} = 1.4 \cdot \text{PP} + 1.4 \cdot \text{SCM} + 1.7 \cdot \text{CV} + 1.7 \cdot \text{CVT}$$

$$\text{RAX} = |\text{SX}| + |\text{Mtx}|$$

$$\text{RAY} = |\text{SY}| + |\text{Mty}|$$

$$\text{COMBSX} = 0.75 \cdot \text{COMBES1} + \text{RAX} + 0.3 \cdot \text{RAY} + 0.3 \cdot \text{RAZ}$$

$$\text{COMBSY} = 0.75 \cdot \text{COMBES1} + \text{RAY} + 0.3 \cdot \text{RAX} + 0.3 \cdot \text{RAZ}$$

A continuación se definieron las fuentes de masa de acuerdo al Capítulo 7.1 de la Norma COVENIN 1756 como el 100% del Peso de la Estructura, el 100% del Peso de la Sobrecarga Muerta y el 50% de la Carga Viva:

Define Mass Source

Mass Definition

From Self and Specified Mass
 From Loads
 From Self and Specified Mass and Loads

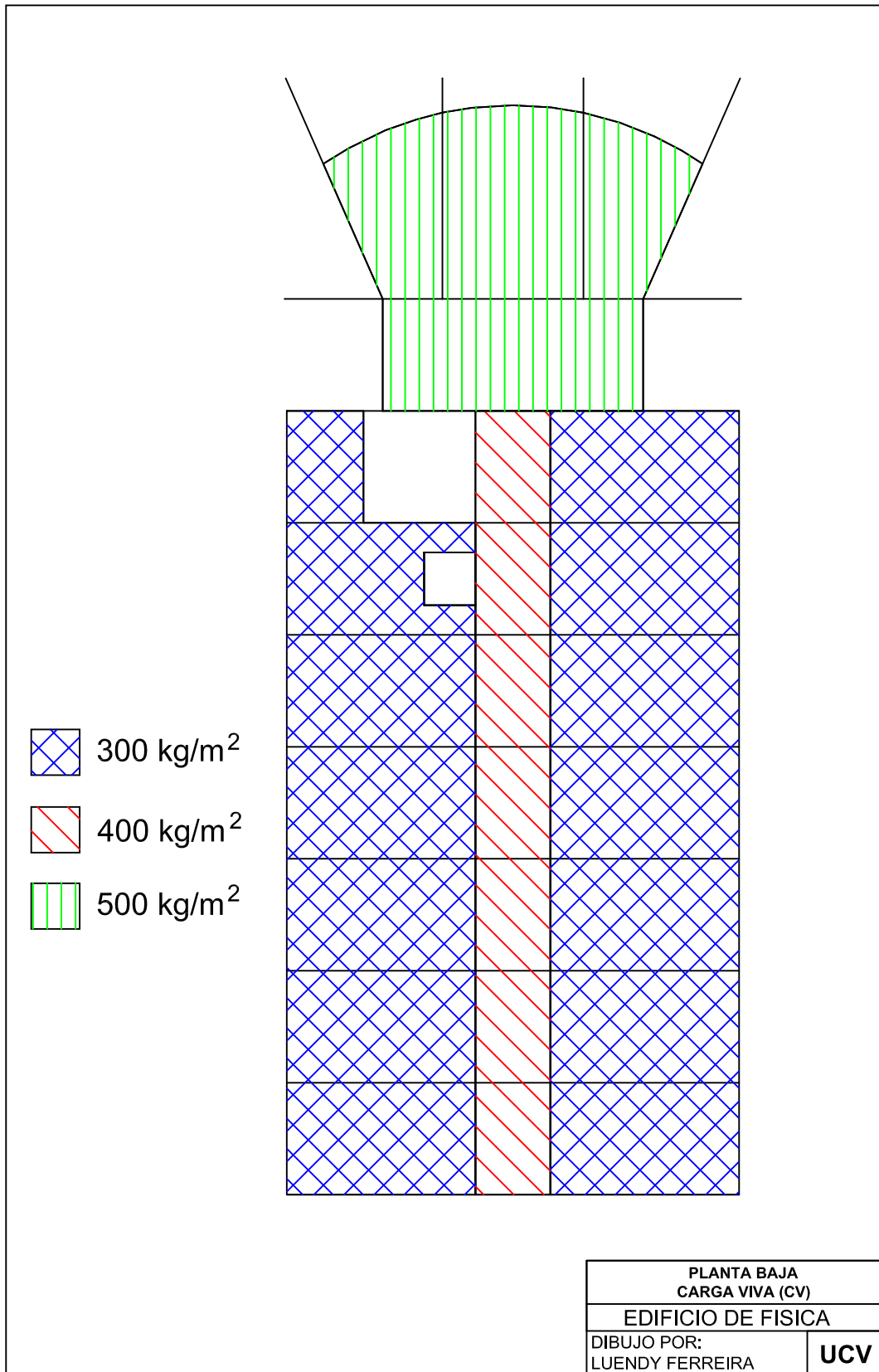
Define Mass Multiplier for Loads

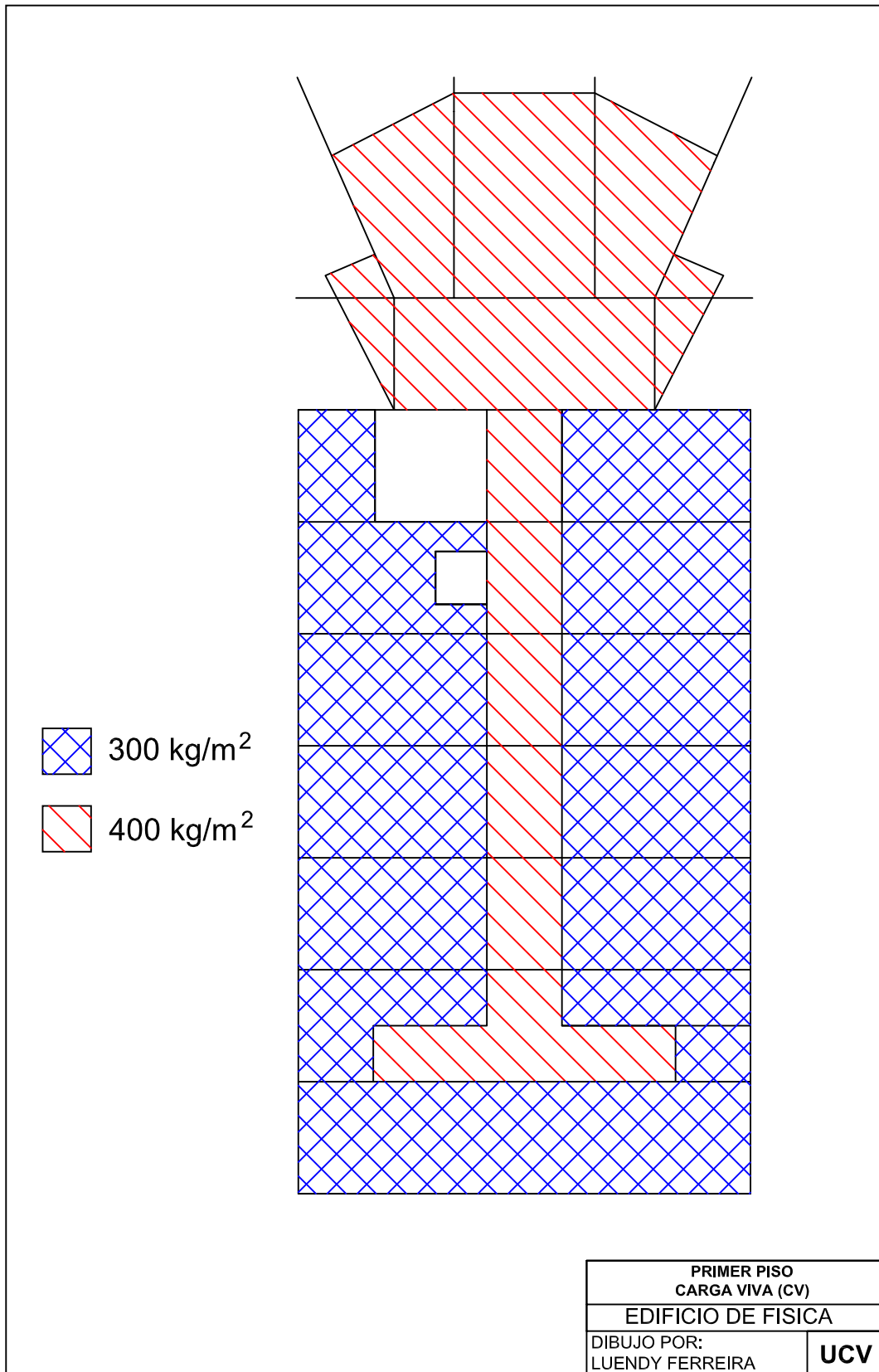
Load	Multiplier
CV	0,5
CV	0,5
SCM	1
CVT	0,5

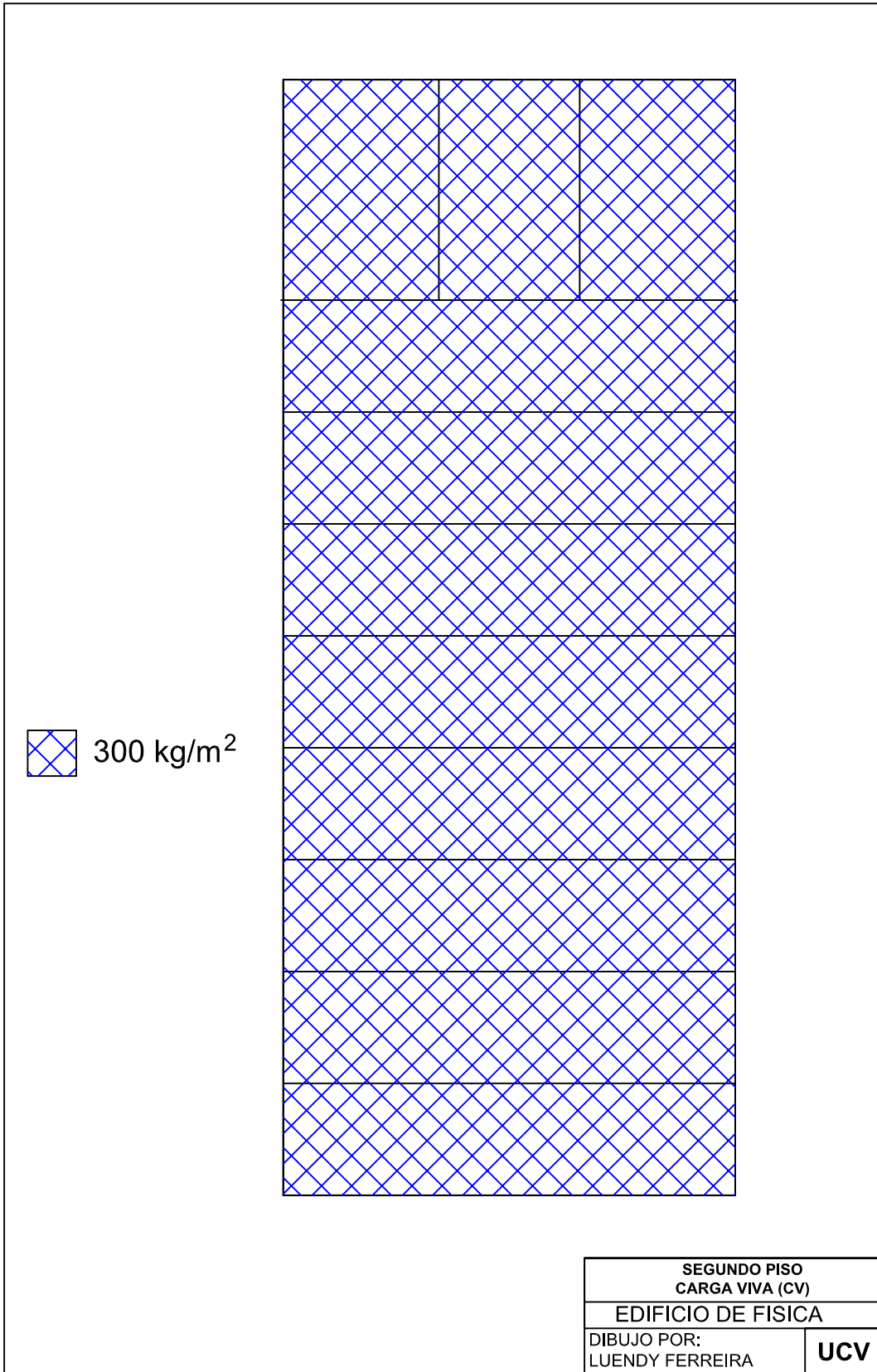
Include Lateral Mass Only
 Lump Lateral Mass at Story Levels

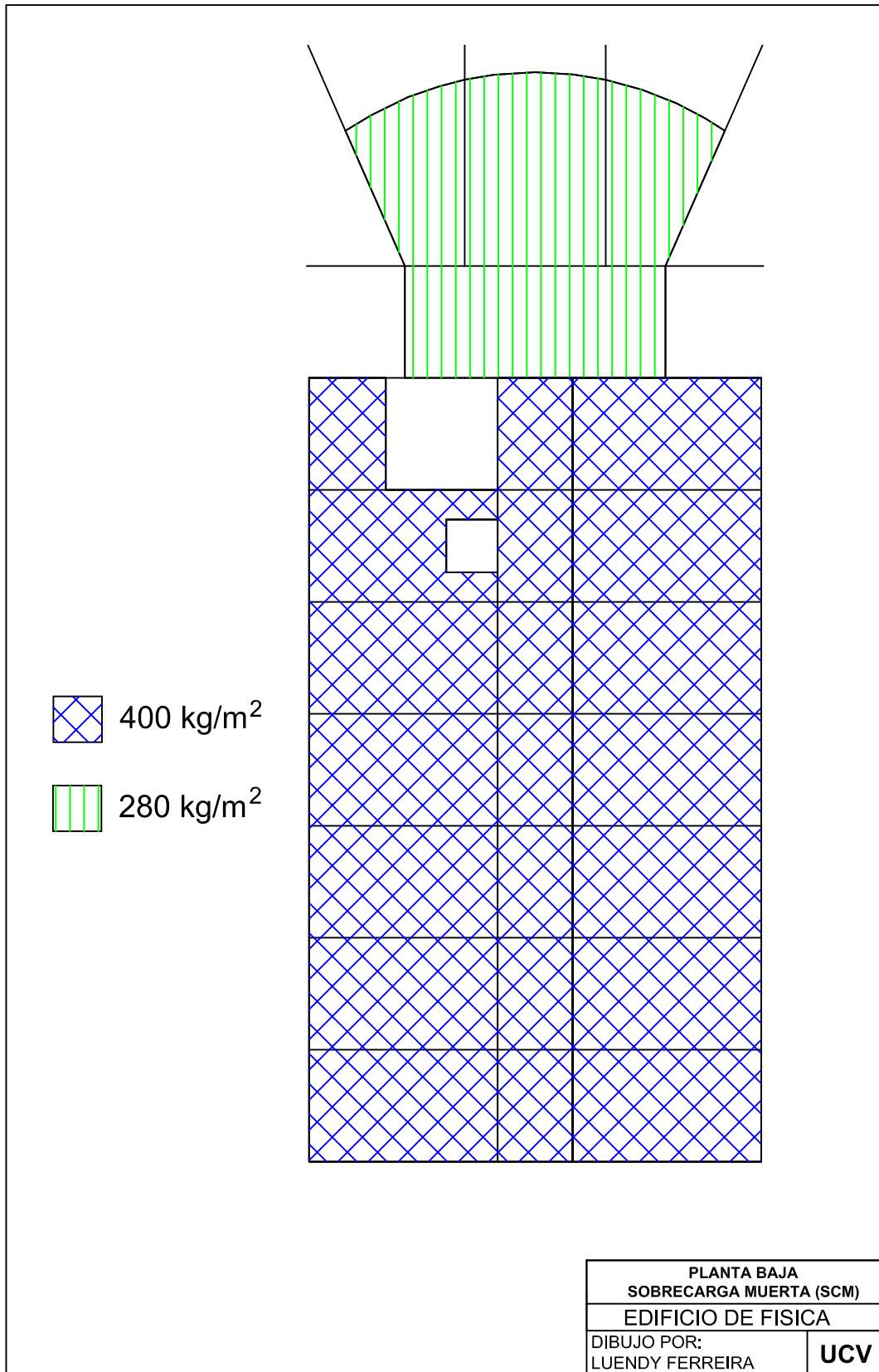
Concluida esta etapa de definiciones previas se procedió a asignar las cargas estáticas por cada nivel. Esta asignación fue de acuerdo a la Norma COVENIN 2002 “Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones”. Para Carga Viva se tomo una carga igual a 400 kg/m^2 para pasillos, 500 kg/m^2 para escaleras y sala de computadoras, 300 kg/m^2 para oficinas, salones y áreas privadas. Para Carga Muerta se tomo el peso de la tabiquería dividido entre el área tributaria y un valor de 80 kg/m^2 por revestimiento de pisos.

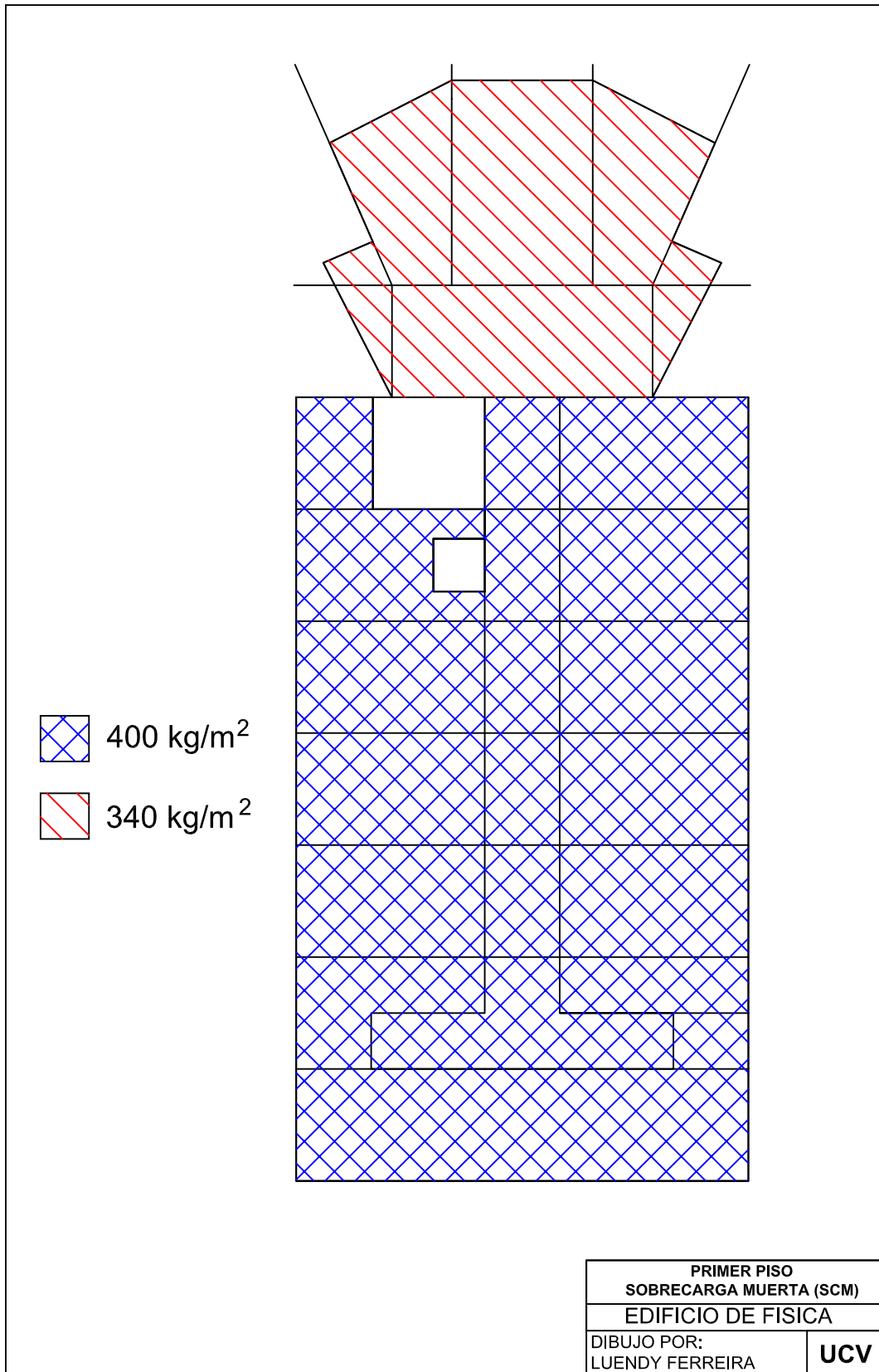
A continuación se muestran los planos esquemáticos con las cargas asumidas:

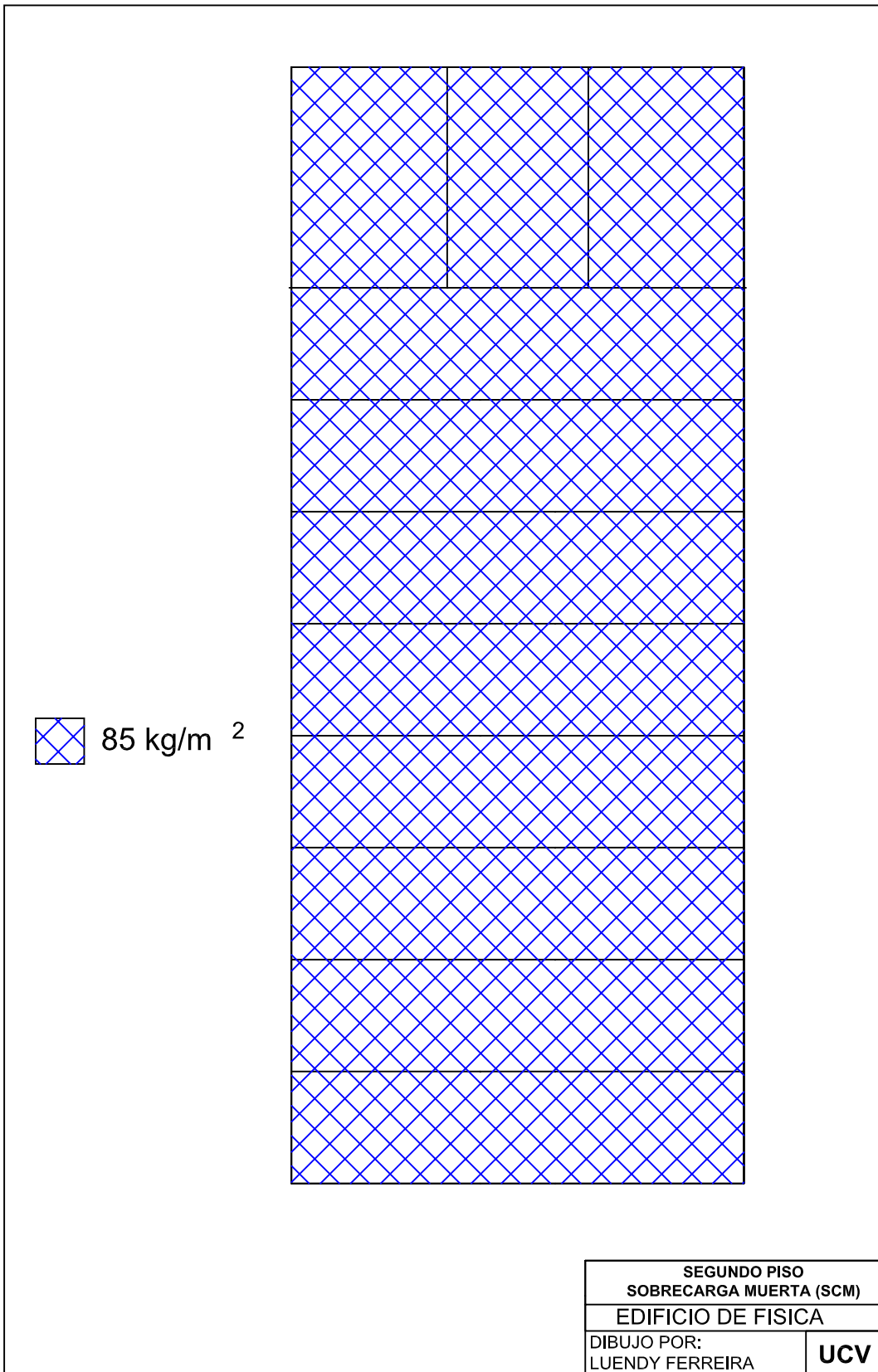




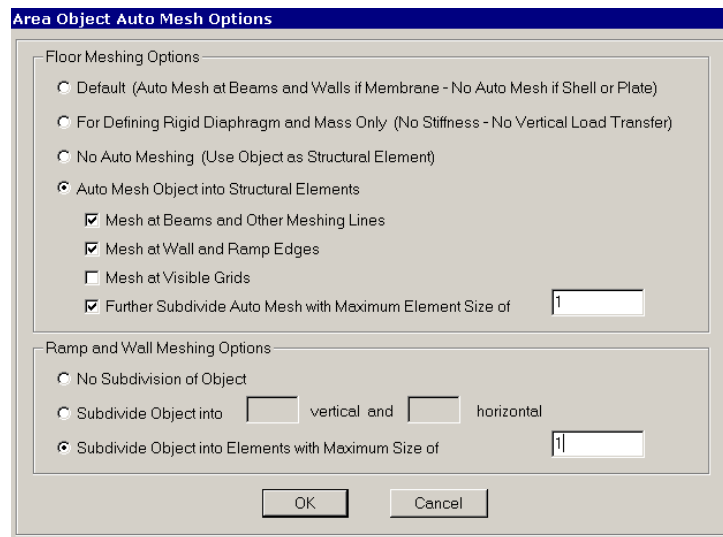








Como paso final previo a la ejecución del análisis se definió el tamaño de los elementos finitos automáticos para todas las losas. Dicho tamaño fue establecido en áreas de 1m^2 de acuerdo a las recomendaciones de los creadores del programa.



Una vez realizado esto fue corrido el análisis una primera vez para determinar las cortantes sísmicas por nivel. Con estas cortantes sísmicas por nivel se calcularon los Momentos torsores adicionales de acuerdo al capítulo 9.6.2.2 de la Norma COVENIN 1756, y los mismos fueron agregados al caso de carga estático M_{tx} y M_{ty} . Luego de esto se realizó una segunda corrida del análisis donde se obtuvieron los resultados definitivos que se muestran a continuación:

En las tablas siguientes se presentan los valores del período y los porcentajes de participación modal correspondientes a cada uno de los modos (por desplazamientos y por rotaciones):

Modo	Periodo (seg)	UX	UY	UZ	SumaUX	SumaUY	SumaUZ
1	0,701250	28,64	5,11	0,00	28,64	5,11	0,00
2	0,618751	0,54	75,34	0,00	29,18	80,45	0,00
3	0,450373	56,75	0,49	0,00	85,93	80,95	0,00
4	0,239053	3,13	5,59	0,00	89,06	86,54	0,00
5	0,217808	2,89	7,31	0,00	91,95	93,85	0,00

Modo	Periodo (seg)	RX	RY	RZ	SumaRX	SumaRY	SumaRZ
1	0,701250	4,55	34,21	50,03	4,55	34,21	50,03
2	0,618751	94,66	0,69	6,66	99,21	34,90	56,70
3	0,450373	0,29	64,91	28,25	99,50	99,81	84,94
4	0,239053	0,11	0,03	3,70	99,61	99,84	88,65
5	0,217808	0,10	0,00	0,53	99,71	99,84	89,17

Se han considerado los primeros cinco modos a fin de dar cumplimiento con lo establecido en el capítulo 9.6.2.1 de la Norma COVENIN 1756, que requiere los primeros N modos que excedan el 90% de la masa total del edificio para cada una de las direcciones de análisis.

En las tablas siguientes se presentan las masas, centro de masas, masas acumuladas, centro de cortantes y centro de rigidez por nivel:

Piso	Diafragma	MasaX	MasaY	XCM	YCM
STORY3	D3	66598,40	66598,40	27,34	10,00
STORY2	D2	104857,43	104857,43	27,66	9,99
STORY1	D1	99444,16	99444,16	29,00	9,92

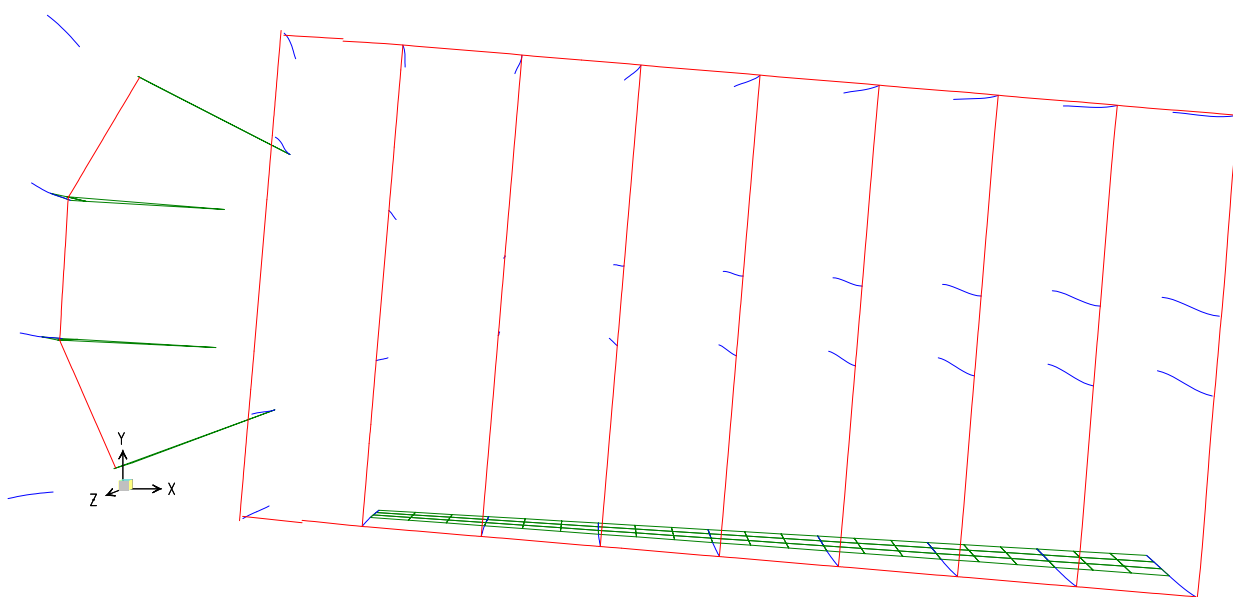
Piso	Diafragma	MasaAcumX	MasaAcumY	XCCM	YCCM
STORY3	D3	66598,40	66598,40	27,34	10,00
STORY2	D2	104857,43	104857,43	27,66	9,99
STORY1	D1	99444,16	99444,16	29,00	9,92

Piso	Diafragma	XCR	YCR
STORY3	D3	23,71	4,25
STORY2	D2	24,82	4,25
STORY1	D1	25,46	5,44

Se puede observar que el centro de rigidez se encuentra desplazado con respecto al centro de cortantes. Esto puede deberse a la presencia de la pantalla que está en el eje Z, fachada lateral sur.

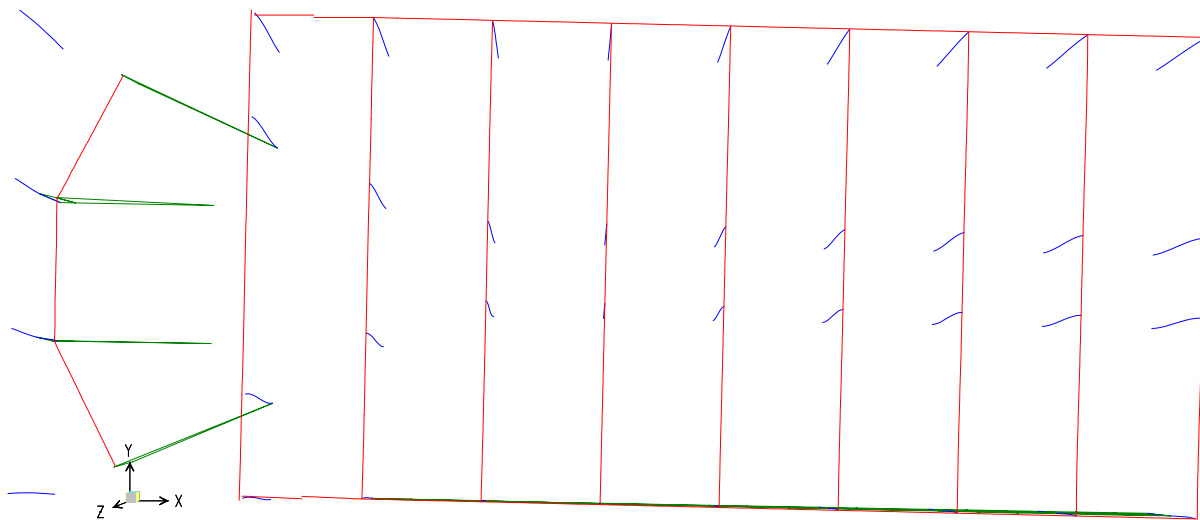
MODO 1

PERÍODO: 0,7012 seg



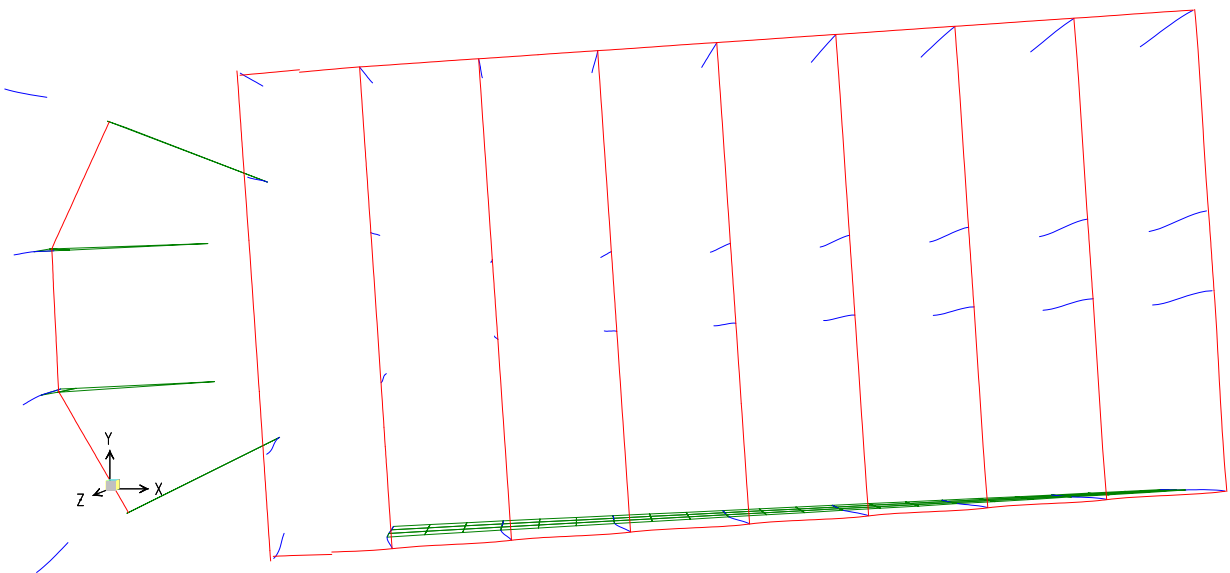
MODO 2

PERÍODO: 0,6187 seg



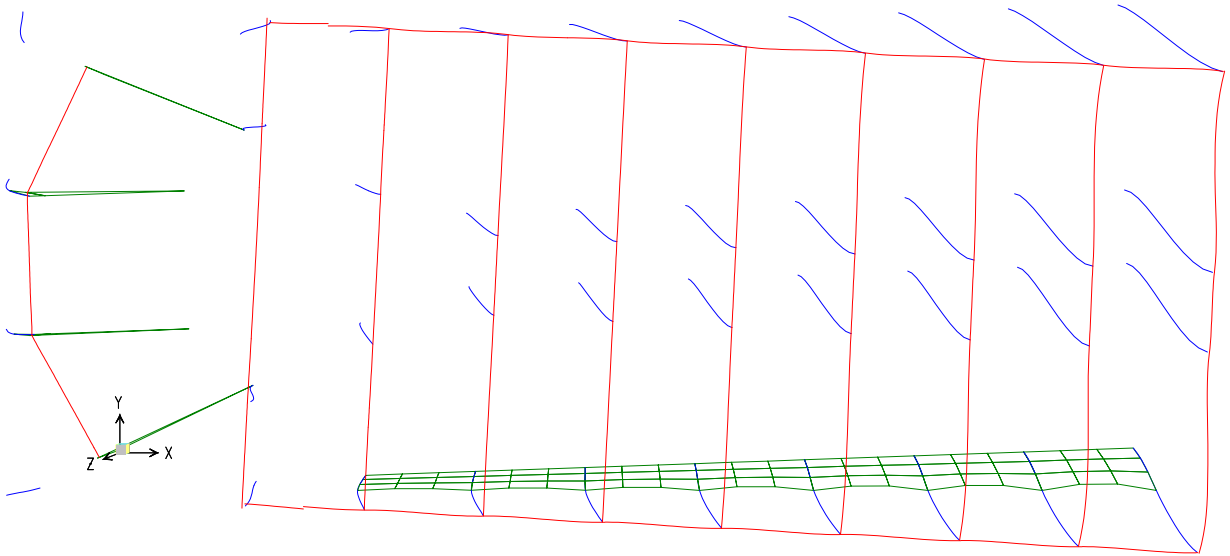
MODO 3

PERÍODO: 0,4503 seg



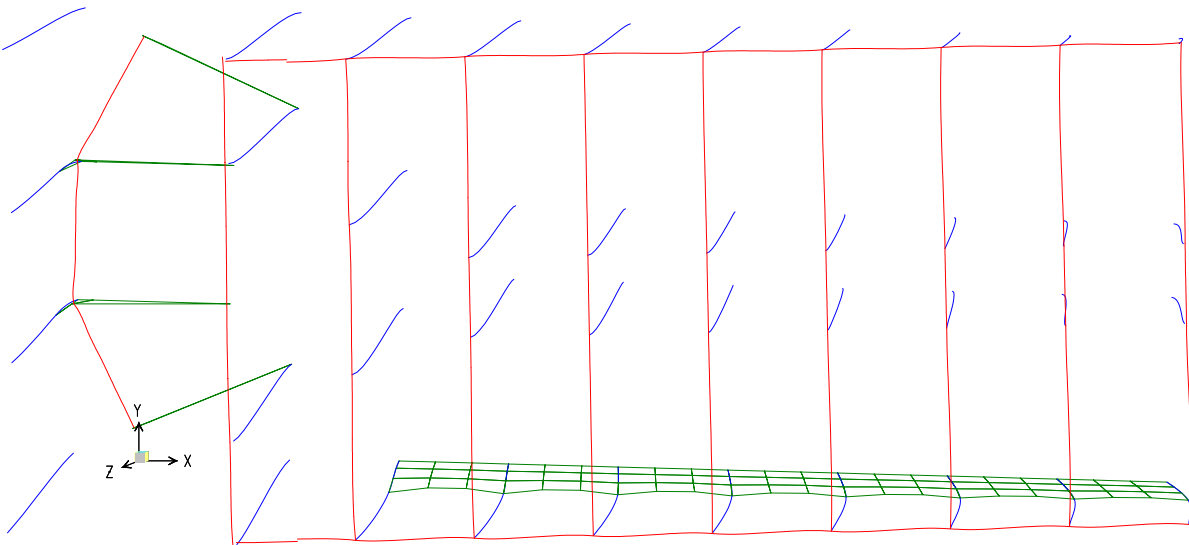
MODO 4

PERÍODO: 0,2390 seg



MODO 5

PERÍODO: 0,2178 seg



Esta tabla presenta los resultados de las diferencias de los desplazamientos laterales totales dividido entre la altura de entrepiso ($\delta_i / h_i - h_{i-1}$) para la combinación de Sismo en X (COMBSX):

COMBSX									
PORTICO	$\delta_i / h_i - h_{i-1}$			$\delta_i / (h_i - h_{i-1}) * 0,8*R$			$\delta_i / (h_i - h_{i-1}) * 0,8*R*1000$		
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 1	PISO 2	PISO 3
1	0,006	0,009	0,007	0,009	0,014	0,012	9	14	12
2	0,005	0,007	0,006	0,008	0,012	0,010	8	12	10
3	0,004	0,006	0,005	0,007	0,010	0,009	7	10	9
4	0,003	0,005	0,004	0,005	0,008	0,007	5	8	7
5	0,003	0,004	0,004	0,004	0,006	0,006	4	6	6
6	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	3	4	4
7	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	3	4	4
8	0,003	0,004	0,003	0,004	0,006	0,004	4	6	4
9	0,003	0,005	0,004	0,005	0,008	0,006	5	8	6
10	0,005	0,007	0,005	0,008	0,012	0,008	8	12	8
Z'	0,003	0,003	0,003	0,005	0,005	0,004	5	5	4
B'	0,003	0,003	0,003	0,005	0,006	0,005	5	6	5
Z	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	3	4	4

Esta tabla presenta los resultados de los diferencias de los desplazamientos laterales totales dividido entre la altura de entrepiso ($\delta_i / h_i - h_{i-1}$) para la combinación de Sismo en Y (COMBSY):

COMBSY									
PORTICO	$\delta_i / h_i - h_{i-1}$			$\delta_i / (h_i - h_{i-1}) * 0,8*R$			$\delta_i / (h_i - h_{i-1}) * 0,8*R*1000$		
	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 1	PISO 2	PISO 3
1	0,005	0,008	0,007	0,008	0,012	0,012	8	12	12
2	0,005	0,007	0,007	0,008	0,012	0,011	8	12	11
3	0,004	0,007	0,007	0,007	0,011	0,010	7	11	10
4	0,004	0,007	0,006	0,007	0,011	0,010	7	11	10
5	0,004	0,006	0,006	0,007	0,010	0,010	7	10	10
6	0,004	0,006	0,006	0,007	0,010	0,009	7	10	9
7	0,004	0,006	0,006	0,007	0,010	0,009	7	10	9
8	0,005	0,007	0,006	0,007	0,011	0,009	7	11	9
9	0,005	0,007	0,006	0,008	0,012	0,010	8	12	10
10	0,006	0,009	0,005	0,010	0,014	0,009	10	14	9
Z'	0,003	0,004	0,003	0,004	0,006	0,005	4	6	5
B'	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	3	4	3
B	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	3	3	3
Z	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	2	2	2

Los valores de las dos tablas anteriores, están en su mayoría por debajo de los límites tipificados en la Norma COVENIN 1756 en su capítulo 10.2, que expresa para esta edificación un valor máximo de 12 por mil.

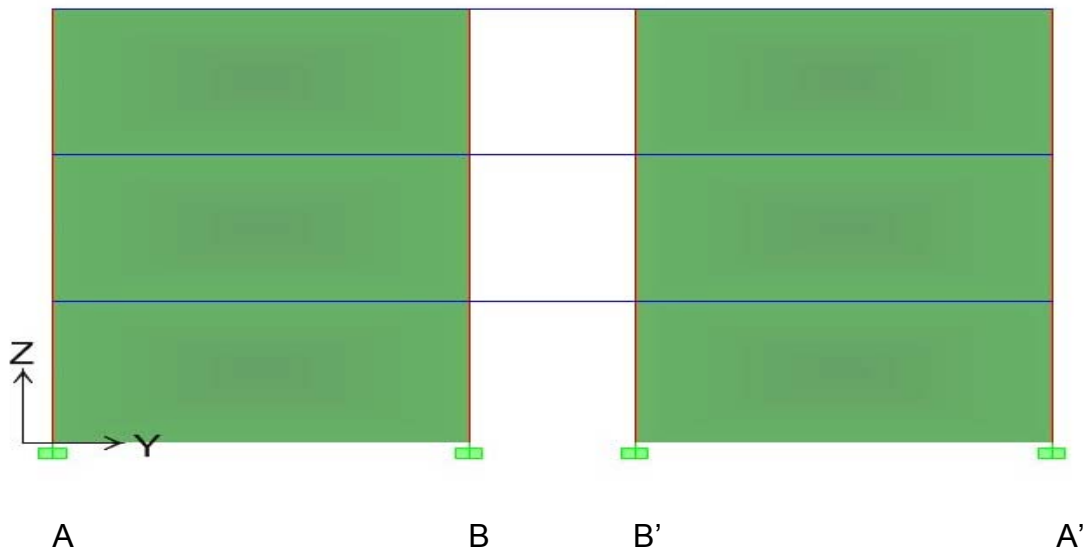
Se puede observar que para la combinación de sismo en Y (COMBSY) a pesar de que todos menos uno de los pórticos cumplen con este requerimiento, están muy cercanos al valor límite, siendo el más crítico el piso dos. El pórtico 10 en el piso dos está por encima del valor límite, con 14 por mil.

En el caso de la combinación de sismo en X (COMBSX), el pórtico 1, en el piso 2, tiene un valor de 14 por mil, siendo el único para esta combinación por encima del límite.

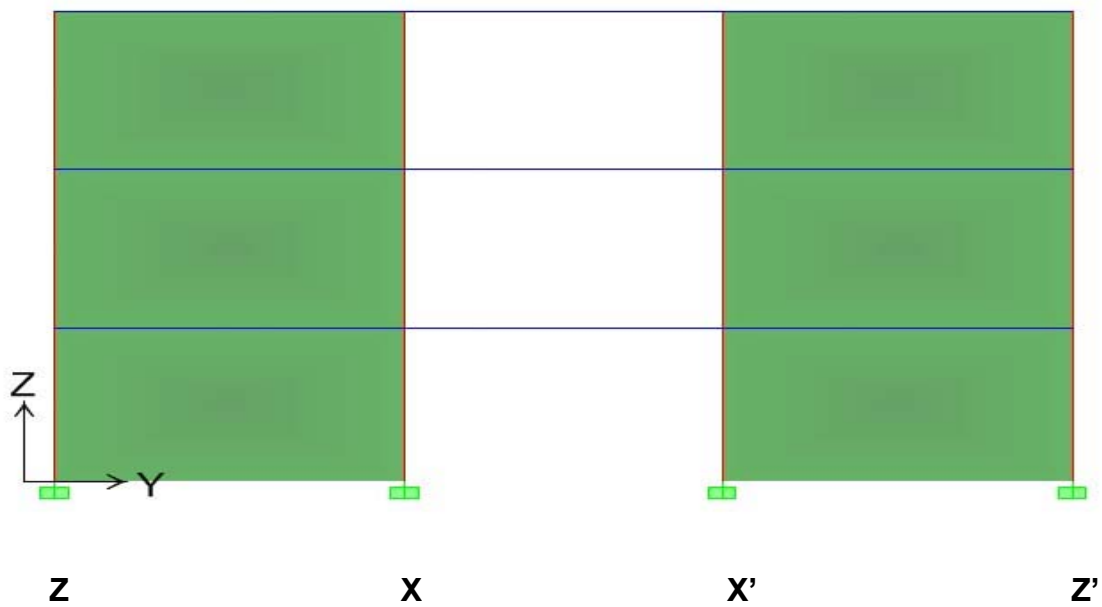
Presentándose estos dos valores por encima del límite, se hace necesario ofrecer una solución para el control de desplazamientos.

3.2. REFORZAMIENTO:

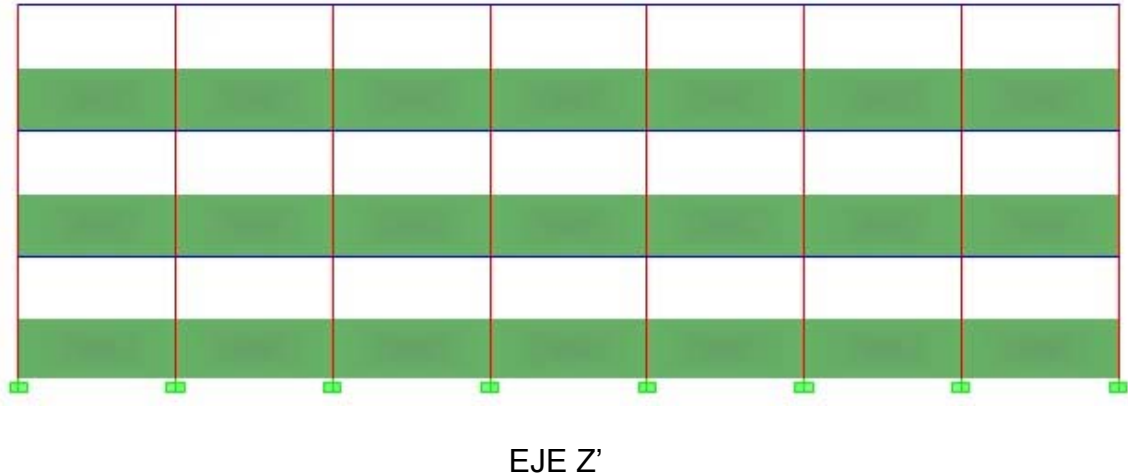
La primera solución que se ofrece es construir un muro en el pórtico 1, entre los ejes A - B, y B' - A' :



Y otro en el pórtico 10, entre los ejes Z - X y X' - Z':



Además la colocación de pantallas, igual a la del eje Z (fachada lateral sur), en el eje Z' (fachada lateral norte):



Con estas disposiciones se obtuvieron, al correr el programa nuevamente, los siguientes resultados:

PISO	CASO	COMBIN.	$(\delta_i / h_i - h_{i-1})X$	$(\delta_i / h_i - h_{i-1})Y$
STORY3	Max Incl. X	COMBSX	0,002016	
STORY3	Max Incl. Y	COMBSX		0,000431
STORY3	Max Incl. X	COMBSY	0,000873	
STORY3	Max Incl. Y	COMBSY		0,000959
STORY2	Max Incl. X	COMBSX	0,001689	
STORY2	Max Incl. Y	COMBSX		0,000429
STORY2	Max Incl. X	COMBSY	0,00072	
STORY2	Max Incl. Y	COMBSY		0,000961
STORY1	Max Incl. X	COMBSX	0,001761	
STORY1	Max Incl. Y	COMBSX		0,000288
STORY1	Max Incl. X	COMBSY	0,000658	
STORY1	Max Incl. Y	COMBSY		0,000635

PISO	CASO	COMBIN.	$\delta_{ex}=0,8*R*Incl. X$	$\delta_{ey}=0,8*R*Incl. Y$	1000* δ_{ex}	1000* δ_{ey}
STORY3	Max Incl. X	COMBSX	0,0032256		3	
STORY3	Max Incl. Y	COMBSX		0,0006896		1
STORY3	Max Incl. X	COMBSY	0,0013968		1	
STORY3	Max Incl. Y	COMBSY		0,0015344		2
STORY2	Max Incl. X	COMBSX	0,0027024		3	
STORY2	Max Incl. Y	COMBSX		0,0006864		1
STORY2	Max Incl. X	COMBSY	0,001152		1	
STORY2	Max Incl. Y	COMBSY		0,0015376		2
STORY1	Max Incl. X	COMBSX	0,0028176		3	
STORY1	Max Incl. Y	COMBSX		0,0004608		0
STORY1	Max Incl. X	COMBSY	0,0010528		1	
STORY1	Max Incl. Y	COMBSY		0,001016		1

Se puede observar que los valores de la solución propuesta se encuentran por debajo del valor límite permitido por la Norma COVENIN 1756, satisfaciendo así el control de desplazamientos.

Como segunda propuesta se consideró un refuerzo igual a la anterior pero utilizando perfiles en lugar de muros. Esta propuesta no resultó factible, ya que debido a las luces largas y los entrepisos altos, los perfiles resultantes eran superiores o iguales a IPE360 lo que significaría una alteración considerable de las fachadas de la edificación no acorde con los criterios de preservación requeridos por dicha edificación.

3.3. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE UNA VIGA Y UNA COLUMNA:

El último de los objetivos es el de evaluar la capacidad resistente de una viga y una columna tomadas arbitrariamente. Para ello se utilizó el mismo programa y la normativa vigente, obteniendo así las características de diseño que deberían cumplir estos miembros para ser comparadas con las establecidas en los planos.

VIGA:

Se tomó la Viga ubicada en el pórtico 3 piso 3 (3 V3), cuyas características establecida en los planos son las siguientes:

EJES	SECCIÓN	Área de Acero cm ²	
		Arriba	Abajo
Z - B	Un tercio	5,08	27,94
	Centro	12,7	27,94
	Dos tercios	12,7	22,86
B - B'	centro	12,7	5.08
B' - Z	Un tercio	12,7	22,86
	Centro	12,7	27,94
	Dos tercios	5,08	27,94

Las áreas de acero que reporta el diseño realizado por el programa de acuerdo a la normativa vigente son:

EJES	SECCIÓN	Area de Acero cm ²	
		Arriba	Abajo
Z - B	Un tercio	25,24	15,54
	Centro	7,87	23,91
	Dos tercios	20,03	12,05
B - B'	Centro	51,61	51,61
B' - Z	Un tercio	20,17	12,05
	Centro	7,26	23,89
	Dos tercios	23,14	14,90

La capacidad resistente de la viga en el área de compresión es deficiente, y el tramo B – B' presenta deficiencias en tracción y compresión. Es decir este miembro no cumple con los requisitos de la normativa vigente.

COLUMNA:

La columna a evaluar es la 10Z', en la siguiente tabla se muestra las características de este miembro en los planos estructurales del edificio:

NIVEL	DIMENSIÓN	ÁREA ACERO cm ²
PB	60 * 60	45,72
1	60 * 60	45,72
2	60 * 60	45,72

Según las disposiciones de la Norma, debería tener:

NIVEL	ÁREA ACERO cm²
PB	154,06
1	154,06
2	154,06

La capacidad resistente de la columna está por debajo de lo requerido por la Norma COVENIN 1756. Siendo el valor máximo de refuerzo permitido por norma de 6% del área gruesa de la columna lo que es igual a 216 cm².

CONCLUSIONES

El trabajo realizado forma parte del proceso sistemático de registro y evaluación de las obras de concreto armado de la Ciudad Universita. En esta oportunidad, esta labor se llevó a cabo para el edificio de Física de la Facultad de Ingeniería, al cual se le realizó un Análisis Dinámico Espacial con tres grados de libertad por nivel.

La metodología se basó en la utilización del programa para Análisis Estructural de Edificaciones ETABS V8, en el cual se establecieron la geometría y características de cada uno de los miembros de la estructura, así como los requerimientos de la Norma COVENIN 1756, para Edificaciones Sismorresistentes, y la 2002, de Acciones Mínimas, con el fin de evaluar la respuesta sísmica de la estructura y dar posibles soluciones para mejorarla.

El Análisis Dinámico realizado al verificarlo con la mencionada Norma COVENIN 1756, con los valores límites establecidos en el capítulo 10.2, mostró que la combinación de sismo en Y, es la más vulnerable y se acentúa mucho más en el piso 2, excediendo y casi igualando estos valores, por ello se recomendó la colocación de una pantalla en el eje Z' (fachada lateral norte) para darle más simetría, en cuanto a rigidez se refiere, a la estructura; además de unos muros en los pórticos 1 y 8. Esto disminuye la separación que existe entre los centros de masas y los centros de rigidez de cada nivel, a fin de disminuir la torsión producida por la asimetría de la estructura.

Al evaluar la capacidad resistente de una viga y una columna se pudo observar que hay escasos refuerzos, no cumpliendo con los parámetros establecidos en la norma COVENIN 1753 Estructuras de Concreto Armado. Análisis y Diseño.

Es importante resaltar que toda reparación que se lleve a cabo para mejorar la respuesta sísmica de la edificación debe hacerse en el marco de no alterar la arquitectura del mismo, ya que no se puede desvirtuar la esencia que hace de la Ciudad Universitaria de Caracas Patrimonio Cultural de la Humanidad.

BIBLIOGRAFÍA

- **Bazan / Meli.** Diseño Sísmico de Edificios. 1999, Editorial Limusa, S.A. Distrito Federal, México.
- **Fratelli, Ma. Graciela.** Estructuras Sismo – Resistentes. 1999, Caracas, Venezuela.
- **Sovinciv.** Jornadas de Cálculo Aplicando la Nueva Norma Sismorresistente COVENIN 1756-98 con ejemplos prácticos, 1999, Caracas, Venezuela.
- **Feliú Juan, Scremin Andrea.** (2003) Evaluación Estructural del Edificio de la Facultad de Farmacia de la Ciudad Universitaria de Caracas. UCV. Caracas, Venezuela.
- **Norma Venezolana COVENIN 1756-Rev 2001.** Edificaciones Sismorresistentes.
- **Norma Venezolana COVENIN 1753-87.** Estructuras de Concreto Armado para Edificios. Análisis y Diseño.
- **Norma Venezolana COVENIN 2002-88.** Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones.

- www.construcción.org.pe
- www.construaprende.com