

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

Sustentabilidad del hábitat

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Tecnología apropiada para la generación de sistemas constructivos



F104: Tecnología apropiada para la generación de sistemas constructivos
Edificación de viviendas con sistemas constructivos de madera masiva

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Lic. en Ingeniería Mecánica. Diana Rizo Karren

Lic. en Ingeniería Civil. Arturo Navarro Islas

Lic. en Ingeniería Civil. Enrique Rodríguez Villa

Lic. en Arquitectura. Zaid Vázquez Alvarado

Lic. en Arquitectura. Gerardo Díaz López

Profesor PAP: Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo y Melissa Selene Carrillo
Rubio

Tlaquepaque, Jalisco, diciembre de 2017

ÍNDICE

REPORTE PAP	6
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	6
Resumen.....	6
1. Introducción	6
1.1. Objetivos.....	7
1.2. Justificación	7
1.3 Antecedentes.....	7
1.4. Contexto.....	13
2. Desarrollo.....	15
2.1 Descripción del proyecto	15
2.2 Plan de trabajo.....	15
2.3 Elaboración de paneles para manufacturar Gluelam y CLT	16
2.4 Desarrollo arquitectónico.....	23
2.5 Desarrollo de análisis estructurales.....	26
2.6 Planta industrial	20
2.7 Trabajo independiente en el taller de carpintería.....	27
3. Resultados del trabajo profesional.....	28
3.1 Costos generales de la planta industrial.....	28
3.2 Cálculo de utilidades.....	29
4. Reflexiones de los alumnos	30
5. Conclusiones.....	36
6. Bibliografía.....	36
Anexo A: Desarrollo de sensor de deformación unitaria.....	38
Anexo B: Análisis de un edificio de acero.....	44
Anexo C: Análisis de un edificio de concreto	61
Anexo D: Análisis de un edificio de madera	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Parque Irazú, (Parque Irazú, s.f.).....	8
Figura 2: Programa arquitectónico Parque Irazú, (Parque Irazú, s.f.)	8
Figura 3: Esencial Liva, (Esencial Liva, s.f.).....	9
Figura 4: Departamento de Esencial Liva, (Esencial Liva, s.f.)	9
Figura 5:Stadthaus, (Arch Daily, 2019).....	10
Figura 6: configuración de paneles CLT, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017)	11
Figura 7: Esquema de ensayo a flexión, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017)	12
Figura 8: resultados de resistencia a flexión y rigidez de madera aserrada, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017).....	12
Figura 9: densidad media y característica CLT, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017).....	12
Figura 10: resultados ensayos en paneles CLT, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017).....	13
Figura 11: Crecimiento de la mancha urbana, (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.)	14
Figura 12: Acotaciones del crecimiento de la mancha urbana, (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.)	14
Figura 13: Uso potencial de barrios mixtos, (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.)	15
Figura 14:Diagrama de Gantt de actividades.....	16
Figura 15: Capas de CLT ((FP Innovations , 2013).....	18
Figura 16: Fingerjoints (González, y otros).....	18
Figura 17: CLT vs Gluelam ((FP Innovations , 2013).....	18
Figura 18:: Corte para aliviar la presión, (FP Innovations , 2013)	19
Figura 19: Panel con corte, (FP Innovations , 2013)	19
Figura 20: Predio.....	24
Figura 21: Plano del piso	25
Figura 22:Proceso de manufactura, (FP Innovations , 2013).....	20
Figura 23:Proceso de manufactura, (FP Innovations , 2013).....	20
Figura 24: A-grader, (Falcon Engineering, 2004)	20
Figura 25: Timber Moisture Meter, (PCE Instruments, s.f.)	20
Figura 26: Horno de secado, Fuente especificada no válida.....	21
Figura 27: Cepillo industrial, (Wholesale Power Tools, s.f.)	21

Figura 28: Fresa finger joint (Comercial Pazos, s.f.).....	21
Figura 29: Trompo industrial, Fuente especificada no válida.....	21
Figura 30: Canteadora, (Raiker, s.f.).....	21
Figura 31: Prensa de alta frecuencia, Fuente especificada no válida.....	22
Figura 32: Router CNCFuente especificada no válida.	22
Figura 33: Montacargas (Grainger, s.f.).....	22
Figura 34: Bodega (Inmobiliaria Roble, s.f.).....	23
Figura 35: ejemplo ficha de información (Sotomayor, 2008).....	27
Figura 36: Clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas (Sotomayor, 2008).....	27
Figura 37: elaboración de finger joint.....	28
Figura 38: deformación unitaria con fuerzas axiales, National Instruments	38
Figura 39: circuito básico de un puente de Wheatstone	39
Figura 40: Circuito de puente de Wheatstone con sensor resistivo	40
Figura 41: Circuito con galga extensométrica y Arduino.....	41
Figura 42: Resultados obtenidos del Arduino.....	43
Figura 43 Geometría de la estructura.....	45
Figura 44Geometría de la estructura.....	45
Figura 45Análisis de carga.....	46
Figura 46Análisis de carga.....	46
Figura 47 Viguería principal.....	47
Figura 48 Viguería secundaria.....	47
Figura 49 Columnas.....	48
Figura 50 Plates.....	48
Figura 51 3D estructura	49
Figura 52 Losas de entepiso	49
Figura 53: Adjudicación de nivel.....	50
Figura 54: carga muerta	51
Figura 55Parámetros de diseño.....	52
Figura 56: sismo.....	53
Figura 57: Código y parámetros	54
Figura 58: 3D estructura	54
Figura 59: Elementos que no pasan	55
Figura 60: Resultados	56
Figura 61: Modos de vibrar.....	57

Figura 62: Resultados	57
Figura 63: Geometría	61
Figura 64: Geometría 2	62
Figura 65: Estructura.....	64
Figura 66: Columnas.....	64
Figura 67: Losas.....	65
Figura 68: 3D losas	65
Figura 69: Losas.....	66
Figura 70: Adjudicación de nivel.....	67
Figura 71: Cargas muertas y vivas.....	68
Figura 72: Parámetros	69
Figura 73: Sismo en x	69
Figura 74: Sismo en z	70
Figura 75: Parámetros.....	70
Figura 76: 3D estructura	71
Figura 77: Geometría	76
Figura 78: Planta geometría.....	76
Figura 79: Columnas seleccionadas.....	77
Figura 80: Selección de vigas	78
Figura 81: Selección de losas.....	79
Figura 82: Asignación de material.....	79
Figura 83: Entrepiso.....	80
Figura 84: Azotea.....	81
Figura 85: Cargas muertas y vivas.....	81
Figura 86: Parámetros sísmicos	82
Figura 87: Sismo en x	83
Figura 88: Sismo en z	83
Figura 89: Parámetros diseño.....	84
Figura 90: 3D de estructura.....	84
Figura 91: modo de vibrar.....	86
Figura 92: Periodos y frecuencias.....	86
Figura 93: Planta baja	89
Figura 94: Planta tipo nivel 1, 2, 3 y 4.....	89
Figura 95: Azotea.....	89

Figura 96: Sección A-A	90
Figura 97: Alzado sur.....	90
Figura 98: Alzado norte	90
Figura 99: Alzado sur.....	91
Figura 100: Alzado este	91
Figura 101: Alzado poniente.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clases de madera, (Gobierno de España, 2009)	17
Tabla 2: Costo del edificio.....	26
Tabla 3: Costos de maquinaria.....	28
Tabla 4: Costo de mano de obra directa.....	29
Tabla 5: Costo de mano de obra indirecta	29
Tabla 6: Gastos de fabricación.....	29
Tabla 7: Utilidad del edificio	30
Tabla 8 Relación de kg totales	58
Tabla 9 Análisis de precios unitarios	59
Tabla 10 Análisis de precios unitarios	60
Tabla 11 Generadores	60
Tabla 12 Cargas muertas entrepiso	62
Tabla 13 Cargas muertas azotea	63
Tabla 14 Relación de metros cuadrados	72
Tabla 15 Análisis de precios unitarios	73
Tabla 16 Análisis de precios unitarios	74
Tabla 17 generadores	75
Tabla 18 Generador de estructura de madera	88

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.

A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

Este proyecto presenta un edificio mixto de cinco niveles con locales comerciales en la planta baja y tres versiones de departamentos en las plantas siguientes para ser construido en el centro de la Zona Metropolitana de Guadalajara. La finalidad es utilizar la madera *CLT* y *gluelam* como método constructivo sustentable por lo que se presentan sus cálculos estructurales con una comparación del mismo edificio fabricado en acero y concreto para demostrar su viabilidad; así como el proceso de manufactura y un estimado de costos de producción.

1. Introducción

En este proyecto se presenta un diseño arquitectónico elaborado con madera masiva y sustentado con análisis estructurales para un edificio de cinco niveles teniendo en su planta baja locales comerciales. Además, se presenta una estimación de los costos para fabricar los paneles de madera y el proceso para manufacturarla.

1.1. Objetivos

Investigar las características físicas de la madera como elemento estructural y su factibilidad como sistema constructivo sustentable en la Zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) generando una propuesta de re densificación poblacional para el centro histórico de Guadalajara por medio de pruebas mecánicas y propuestas arquitectónicas.

1.2. Justificación

La madera proveniente de un bosque controlado es un método constructivo sustentable ya que puede crecer de manera natural. Además, es mejor que el acero y concreto en términos de contaminación de agua, aire y tener una menor huella de dióxido de carbono ya los árboles siguen absorbiendo CO₂ mientras están creciendo (WoodWorks, 2012).

Igualmente, el espesor de los paneles de madera puede variar para así disminuir su coeficiente de transferencia de calor y, en consecuencia, requerir menos aislantes térmicos (WoodWorks, 2012).

Otro beneficio de la madera es la rápida instalación en la obra ya que los paneles pueden ser prefabricados para obtener las medidas deseadas y los cortes de puertas y ventanas y, de esta forma, reducir tiempo y costos de obra (WoodWorks, 2012).

De igual manera, los paneles de madera tienen una excelente resistencia sísmica gracias a su estabilidad y rigidez; así como protección ante el fuego ya que, debido al arreglo de los paneles, el fuego se consume lentamente (WoodWorks, 2012).

1.3 Antecedentes

La madera laminada, también conocida por su nombre en inglés como *glued laminated timber* o *glulam* está fabricada por capas de láminas, normalmente de abeto o pino, colocados de manera paralela. Este método tiene como ventaja su gran estabilidad dimensional y la versatilidad de manufacturarla en diferentes formas, tamaños y configuraciones (Structural Timber Association, s.f.).

La madera contralaminada, llamada en inglés como *cross-laminated timber* o *CLT* se produce al tener capas colocadas perpendicularmente. Es decir, la segunda capa se coloca a 90 grados de la primera y el procedimiento se repite con las capas siguientes. Tiene como

ventaja su alta resistencia a esfuerzos cortantes y flexión (Structural Timber Association, s.f.).

1.3.1 Antecedentes arquitectónicos

Al no ser común la construcción de madera masiva en México, se tomó un ejemplo de una construcción extranjera de madera y se analizaron dos proyectos locales construidos con sistemas tradicionales, pero con tamaño similar al proyecto que se pretende realizar.

Uno de los proyectos locales es el Parque Irazú, un proyecto habitacional plurifamiliar ubicado en Calzada Independencia, Esquina Volcán Usulután, a un costado de la estación Zoológico del Macrobus, en el municipio de Guadalajara, Jalisco.



Figura 1: Parque Irazú, (Parque Irazú, s.f.)

Los departamentos tienen una superficie de construcción de 48m^2 a 50m^2 , una superficie de lote de 54m^2 a 57m^2 y con un costo de \$704,000.00 (Parque Irazú, s.f.).

El programa arquitectónico por departamento se conforma por 2 recámaras, 1 baño, sala, comedor, cocina y cuarto de servicios.



Figura 2: Programa arquitectónico Parque Irazú, (Parque Irazú, s.f.)

Al analizar el diseño de la planta, se observó que para llegar al cuarto de servicios es necesario cruzar toda la vivienda incluyendo una de las recámaras. Además, la distancia entre los espacios de instalaciones es muy amplio, lo cual aumenta los costos de las mismas. Por otro lado, el espacio destinado a la circulación se detecta fácilmente y generaría un buen acomodo de muebles.

El segundo ejemplo de vivienda mexicana es el Esencial Liva ubicado en la zona real de Zapopan, Jalisco. Este complejo cuenta con departamentos de 1 a 3 recámaras que van de los 59m² a los 101m² y costos desde \$2,163,000.00. El costo supera al costo objetivo del proyecto, sin embargo, el tamaño del departamento pequeño es similar al deseado.



Figura 3: Esencial Liva, (Esencial Liva, s.f.)

En la siguiente figura se muestra un departamento de 59m² con dos recámaras, 2 baños, sala, comedor, cocina y cuarto de servicios (Esencial Liva, s.f.).



Figura 4: Departamento de Esencial Liva, (Esencial Liva, s.f.)

Al realizar el análisis, se percibió que se encuentran espacios residuales en recámaras y espacio de servicio compactado. También, el espacio del comedor es reducido y la ubicación de los baños no es la más óptima. Por otro lado, el desarrollo del complejo presenta un espacio público con área fitness y familiar.

Para el ejemplo internacional se tomó el *Stadthaus*, ubicado en Londres, Reino Unido. Fue construido con CLT por Waugh Thistleton Architects y se terminó en 2009 para *Pelfort Houses*, con un presupuesto de 3.9 millones de libras. Además, ganó el Premio Presidente de Investigación RIBA 2009. *Stadthaus* es el primer edificio vivienda de alta densidad construido enteramente de madera, es decir, no sólo muros y losas, sino también escaleras y núcleos de ascensores (Arch Daily, 2019).

Este sistema constructivo tiene como ventaja que la modulación de las plantas facilita el diseño espacial y el sistema estructural facilita su construcción y logística, al ser elementos prefabricados con fácil transportación y ensamblaje.

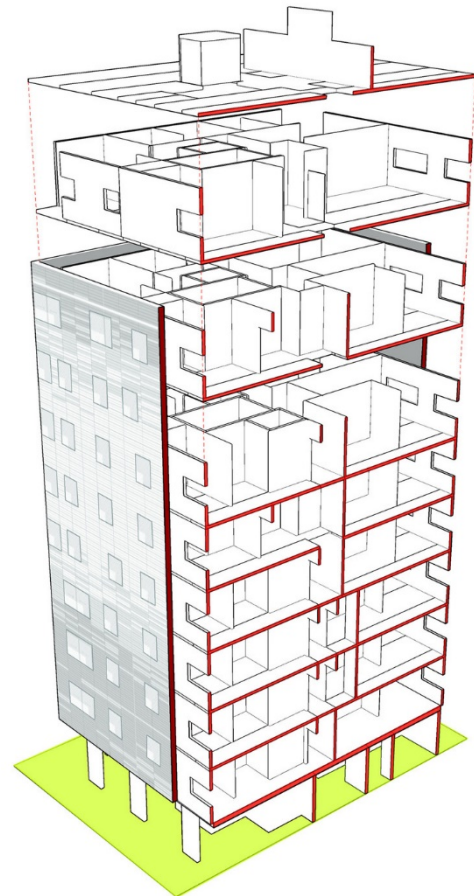
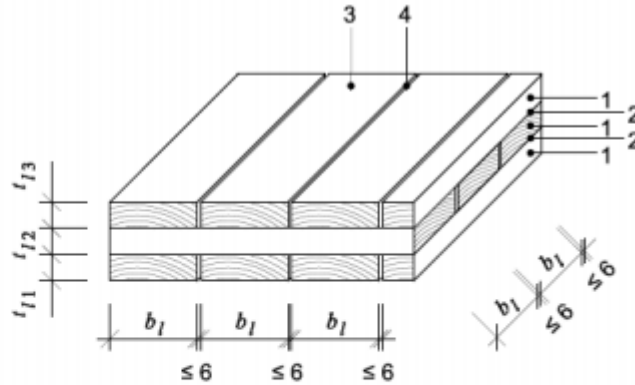


Figura 5: *Stadthaus*, (Arch Daily, 2019)

1.3.2 Antecedentes estructurales

Con base al anexo F de la norma EN 16351, la Universidad Nacional Noroeste en Buenos Aires, Argentina realizó estudios con madera contralaminada fabricado a partir de tablas de *Pinus Taeda/Elliottii* provenientes de Uruguay. Estos paneles constaban de 3 capas, partiendo de tablas de 34x127x300 mm como se muestra en la siguiente figura.

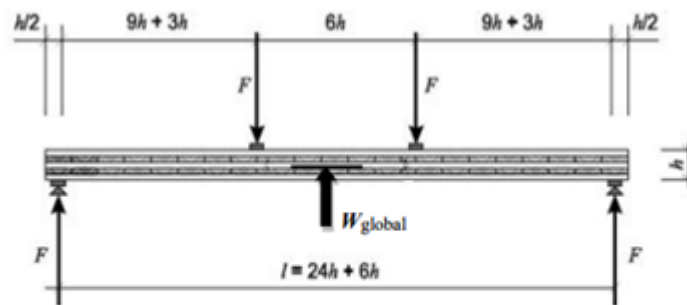


Siendo:

- 1 capa de madera
- 2 línea de encolado entre las capas
- 3 lamina
- 4 holgura entre las láminas
- b_l anchura de la lámina acabada, 127 mm
- t_l grosor de la lámina acabada, 34 mm

Figura 6: configuración de paneles CLT, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017)

La norma establece que las propiedades mecánicas se pueden obtener por las propiedades de las capas y ensayos de madera contralaminada. Para el primero, se ensayaron 40 tablas a flexión de cuatro puntos, de acuerdo con la norma EN 408, y se obtuvieron su valor característico de resistencia y rigidez, modificando los valores a un contenido de humedad de 12% con base a la norma EN 384 (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017). Para el segundo, se utilizaron 5 paneles con 3 capas de 381 mm de ancho, 102 mm de espesor y una luz utilizada de 2.86m con humedad al 15%. El esquema de ensayo a flexión utilizado se muestra a continuación.



Siendo:

- h altura de la probeta
- l luz de la probeta
- W_{global} flecha medida en la línea media

Figura 7: Esquema de ensayo a flexión, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017)

Los resultados obtenidos de la resistencia a flexión y rigidez de acuerdo con las propiedades de las capas se presentan en la siguiente figura donde:

f_m = valor medio

f_{05} = quinto percentil de la resistencia a flexión

$E_{m,g_{12}}$ = módulo de elasticidad

ρ_{12} = densidad media de las tablas de madera aserrada al 12% de humedad

$\rho_{k_{12}}$ = densidad característica

n	f_m (N/mm ²)	f_{05} (N/mm ²)	$E_{m,g_{12}}$ (N/mm ²)	ρ_{12} (Kg/m ³)	$\rho_{k_{12}}$ (Kg/m ³)
40	25,1	9,08	7.155	439	364

Figura 8: resultados de resistencia a flexión y rigidez de madera aserrada, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017)

Estas propiedades mecánicas de la madera aserrada están por debajo de los requerimientos propuestos por la norma EN 338.

En la siguiente figura se muestran los valores de densidad media y característica obtenidos de los cinco paneles de CLT con base a las densidades de las capas mostradas en la figura anterior.

Densidad media y característica (Kg/m ³)						
panel	capa	tablas	$\rho_{capa, media}$	$\rho_{capa, k}$	$\rho_{panel, media}$	$\rho_{panel, k}$
1	1ª	3	436	409	436	413
	2ª	24	437	375		
	3ª	3	450	428		
2	1ª	3	475	438	445	426
	2ª	24	445	387		
	3ª	3	471	406		
3	1ª	3	448	440	440	426
	2ª	24	440	387		
	3ª	3	470	452		
4	1ª	3	454	434	406	421
	2ª	24	448	383		
	3ª	3	406	397		
5	1ª	3	431	428	431	440
	2ª	24	469	400		
	3ª	3	440	430		

Figura 9: densidad media y característica CLT, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017)

Se observa que las densidades características de la madera CLT supera a la de la madera aserrada.

Utilizando el segundo método, se obtuvieron los siguientes resultados de los ensayos en los paneles CLT.

Panel	F_{max} (kN)	f_{m,CLT} (N/mm²)	E_{0,g} (N/mm²)	E_{0,l} (N/mm²)
1	28.0	25	6714	7328
2	30.0	27	6105	6663
3	21.8	20	4482	4892
4	19.3	17	6726	7341
5	23.0	21	9397	10256
Promedio	24.4	22	6685	7296

Figura 10: resultados ensayos en paneles CLT, (Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires, 2017)

Con estos ensayos, se concluyó que, aunque la madera aserrada tiene bajas propiedades mecánicas, al estar conformada en paneles CLT con un mayor volumen, se puede utilizar de manera estructural.

1.4. Contexto

De 1980 al 2010, la ZMG creció 3.82 veces. Sin embargo, el 90% del transporte público estructurado está concentrado en el municipio de Guadalajara. Esta situación ha traído consigo una gran cantidad de problemas como lo es la importancia del uso del automóvil debido a las largas distancias que las personas tienen que recorrer entre trayectos haciendo de la movilidad un tema no sustentable (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.).

Por otro lado, se tiene registrado cerca de 35,000 viviendas deshabitadas cercanas al transporte público masivo que puede dar una vivienda a más de 140,000 personas. En la siguiente figura se puede apreciar el crecimiento de la mancha urbana con respecto al transporte público masivo (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.).

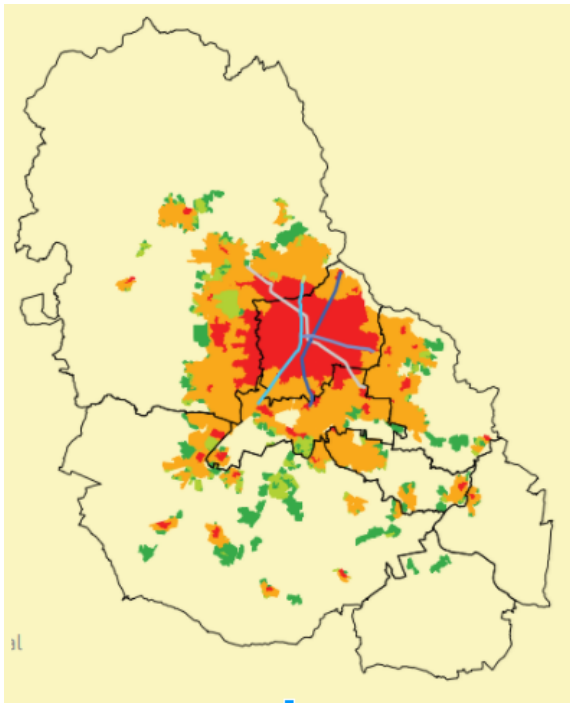


Figura 11: Crecimiento de la mancha urbana, (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.)

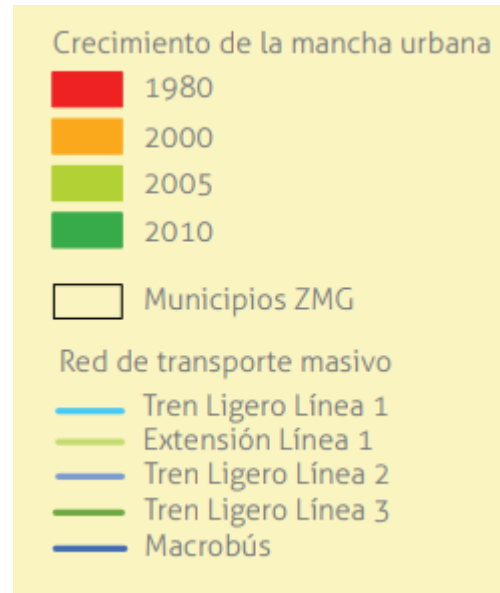


Figura 12: Acotaciones del crecimiento de la mancha urbana, (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.)

Actualmente el gobierno está buscando contrarrestar esta expansión desmedida realizando inversiones en búsqueda de movilidad sustentable, como lo es la extensión de la línea 1 del tren ligero, la construcción de la línea 3 del tren ligero, el proyecto MIBICI, cambio de unidades de trolebuses y la implementación de Zonas 30.

Por estas razones se creó el DOT (Desarrollo Orientado al Transporte) que es la búsqueda de integración entre movilidad y desarrollo urbano para mejora de accesibilidad en la ciudad. Esta estrategia busca que las colonias que se ubiquen cercanas a los medios de transporte masivo sean compactas, con alta densidad y de uso de suelo mixto para que puedan atraer servicios, empleos y vivienda siendo accesibles en cualquier medio de transporte. La recomendación del DOT para la ubicación de estas colonias respecto a las líneas de transporte masivo es de no más de 800 metros ó 10 min caminando (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.).



Figura 13: Uso potencial de barrios mixtos, (Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, s.f.)

2. Desarrollo

2.1 Descripción del proyecto

El proyecto se divide en cuatro ramas: arquitectura, civil, mecánica y trabajo independiente en taller. En la rama de arquitectura se presenta una propuesta de un diseño arquitectónico de cinco niveles siendo la planta baja locales comerciales y las siguientes plantas tres tipos de departamentos. La rama de civil analizará esta propuesta utilizando tres variables: acero, concreto y madera. La parte mecánica desarrollará una opción de una planta industrial para la fabricación de madera basándose en el *CLT Handbook* y continuará los proyectos anteriores pasados de sensores con galgas extensométricas. Este último se encuentra en el Anexo A. En la última rama se elaborarán los paneles de madera *gluelam* y *CLT* en el taller de carpintería, tomando como referencia lo avanzado en el proyecto pasado, para posteriormente realizar pruebas mecánicas.

Este capítulo se compone del plan de trabajo seguido, la descripción de la fabricación de los paneles, el desarrollo arquitectónico, el desarrollo de los análisis estructurales, el trabajo independiente en el taller de carpintería, una opción de planta industrial y una estimación de costos de obra con madera.

2.2 Plan de trabajo

Se desarrolló un diagrama de Gantt presentado en la siguiente figura dividiendo las cuatro ramas comenzando en la semana 4 y dejando las últimas dos semanas para cualquier revisión del reporte PAP. Sin embargo, dicho reporte se elaboró a la par con las actividades.

Actividades	SEMANA															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Arquitectura																
Búsqueda de terreno	■	■														
Propuesta de departamento			■	■												
Propuesta de edificio				■	■	■	■									
Proyecto ejecutivo								■	■	■	■	■				
Civil																
Análisis estructurales de concreto							■	■	■	■	■	■				
Análisis estructurales de acero							■	■	■	■	■	■				
Análisis estructurales de madera							■	■	■	■	■	■				
Presupuesto de madera													■			
Mecánica																
Diseño de sensores	■	■	■	■												
Desgloce de proceso de fabricación					■	■										
Identificación de maquinaria para planta							■									
Cotizaciones								■	■							
Presentación de costos									■	■						
Presupuesto por edificio													■			
Trabajo en taller																
Cepillado				■	■											
Canteado					■	■										
Corte								■								
Finger joint									■	■						
Elaboración de paneles													■			

Figura 14: Diagrama de Gantt de actividades

2.3 Elaboración de paneles para manufacturar Gluelam y CLT

El primer paso para elaborar CLT y Gluelam es revisar las piezas. En este proceso, se buscan desperfectos, nodos y/o grietas para removerlos. Además, se observa si las dimensiones son las correctas y se procede a hacer un análisis de su resistencia a flexión para poderla clasificarla correctamente. Esta clasificación ayuda a identificar qué tipo de categoría se utilizará para ciertas funciones estructurales. La resistencia a flexión se puede calcular con un A-grader. El A-grader utiliza ondas sonoras conducidas de un lado al otro de la madera. Al conocer el largo de la madera, la velocidad a la que rebotan ciertas ondas y la densidad; es posible conocer su resistencia (Falcon Engineering, 2004). Con este dato, la madera es clasificada de acuerdo con la tabla presentada a continuación.

Propiedades		Clase resistente											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
-Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabla 1: Clases de madera, (Gobierno de España, 2009)

El siguiente paso es conocer su grado de humedad ya que es recomendado tener un contenido de humedad de $12\% \pm 2\%$ para que los adhesivos funcionen correctamente. Para ello, se pueden utilizar un medidor de humedad de madera o, si se desea hacer de forma manual, se extraen probetas de las piezas de sección cuadrada de 25 mm x 100 mm de largo, medida a lo largo de la fibra. A continuación, se pesan las probetas y se secan hasta que su segundo peso sea constante. Para calcular su contenido de humedad se utiliza la siguiente ecuación (González, y otros):

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%$$

Donde:

$MC =$ contenido de humedad

$m_1 =$ masa antes del secado

$m_2 =$ masa después del secado

Si la humedad es mayor a la ideal, la madera pasa por un horno de secado hasta obtener el resultado deseado (FP Innovations , 2013).

Luego, se hace un cepillado de la madera. Esto se puede hacer manual o semimanual. Para el primero se utiliza una lija mientras que para el segundo un cepillo industrial. Al finalizar de cepillar la madera, se debe cantear con una canteadora. Después, se procede a realizar

los cortes y *fingerjoints*. Los cortes se determinan dependiendo de la longitud final de la lámina. Sin embargo, es importante que sean a distancias diferentes para que, al momento de unir las capas, los cortes no coincidan a la misma distancia entre cada una como se muestra en la figura.



Figura 15: Capas de CLT ((FP Innovations , 2013)

Los fingerjoints son cortes que se realizan en los extremos de la madera para unirla con el siguiente tramo de forma entrelazada por medio de adhesivo. El siguiente paso es aplicar el pegamento y formar las capas. Esto se debe de hacer después del cepillado para evitar la oxidación de la madera. En caso de CLT, las capas son intercaladas y deben ser nones. La cantidad de capas dependerá de la función de la lámina y la clase a la que pertenece.

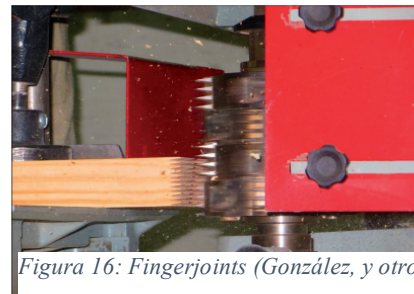


Figura 16: Fingerjoints (González, y otros)

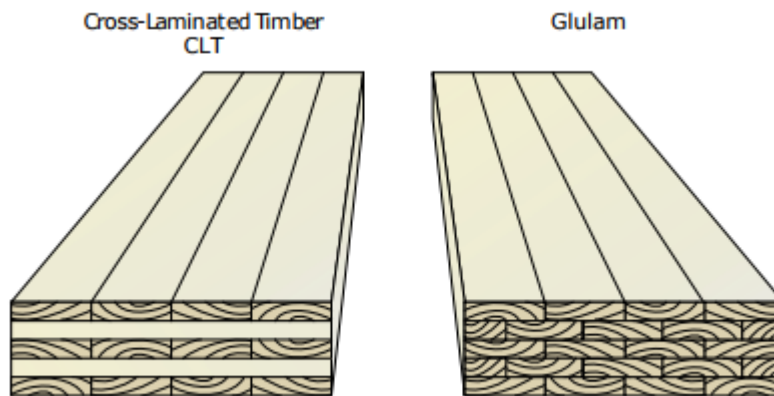


Figura 17: CLT vs Gluelam ((FP Innovations , 2013)

Después, los paneles se deben prensar. Se pueden utilizar prensas hidráulicas, prensas al vacío y prensas de alta frecuencia. Si se utiliza una prensa al vacío, la presión realizada puede no ser suficiente para superar las irregularidades de la madera. Por eso, se deben hacer cortes parciales longitudinalmente, como se muestra en la figura, para liberar el esfuerzo generado y evitar grietas (FP Innovations , 2013).



Figura 18:: Corte para aliviar la presión, (FP Innovations , 2013)

Si se utiliza una prensa hidráulica, se recomienda utilizar una prensa vertical y en los lados para evitar espacios entre las capas adjuntas. La prensa de alta frecuencia es una prensa hidráulica que, a su vez, pasa por un equipo de ondas de alta frecuencia que disminuyen el tiempo de curado del pegamento.

A continuación, se puede volver a lijar para obtener el espesor final deseado antes de pasar por un Router CNC donde se harán los cortes deseados.

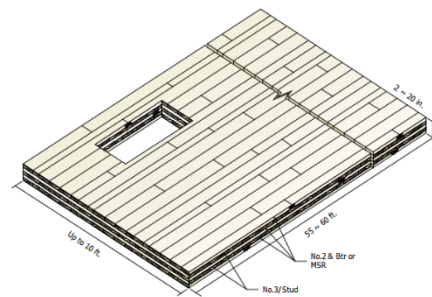


Figura 19: Panel con corte, (FP Innovations , 2013)

2.6 Planta industrial

Como se presentó en el capítulo anterior, la elaboración de paneles CLT y gluelam se puede resumir en:

1. Análisis visual
2. Análisis de resistencia
3. Clasificación y agrupación de clases
4. Análisis de humedad y horno de secado
5. Cepillado y canteado de madera
6. Corte y unión por fingerjoints
7. Elaboración de paneles
8. Prensado
9. Cepillado y análisis de calidad
10. Corte con Router CNC

En este capítulo, se presenta una opción de una planta industrial con la maquinaria, mano de obra y los costos tentativos para fabricar los paneles. Es importante mencionar que no se realizó un estudio de rentabilidad y los costos son estimados y pueden variar dependiendo del proveedor y la maquinaria sugerida.

El análisis visual, el de resistencia y la clasificación pueden ser realizados por un técnico 1 con una nómina de \$9,000.00 mensuales. El análisis de resistencia se puede realizar con un A-

grader de Falcon Engineering con un costo de \$135,000 USD

(2.58 millones de pesos). El análisis de humedad se puede obtener con el Multifunction Timber Moisture Meter PCE-HGP de PCE Instruments de £237 (\$5,966 MXN) (PCE Instruments, s.f.). El horno de secado podría ser el 6M3

HF Vacuum Wood Dryer de Saga Machinery con un costo de



Figura 21: Proceso de manufactura, (FP Innovations, 2013)



Figura 22: A-grader, (Falcon Engineering, 2004)



Figura 23: Timber Moisture Meter, (PCE Instruments, s.f.)

\$40,000 USD (\$762,936 MXN) (Alibaba, s.f.). Estos últimos dos procesos pueden ser realizados por el técnico 2 con una percepción igual al anterior.



Figura 24: Horno de secado, Fuente especificada no válida.



Figura 25: Cepillo industrial, (Wholesale Power Tools, s.f.)

El técnico 3 puede realizar el cepillado de madera con un cepillo industrial como el JWP-208HH-20 de Jet Tools con un costo de \$3,439 USD (\$65,593.47 MXN) (Wholesale Power Tools, s.f.), el proceso puede ser realizado en 5 minutos/m².

Después, se debe cantear la madera por el mismo técnico. Para ello se utiliza una canteadora como la Knova de 6" de \$9,929.60 MXN (Raiker, s.f.).

El siguiente paso es realizar los cortes a diferentes dimensiones de las láminas y los finger joints en los extremos. Esto, se puede realizar por el técnico 4. Para el corte se utiliza un trompo industrial como la Jet Industrial 3



Figura 27: Canteadora, (Raiker, s.f.)

HP Shaper de \$2,897.99 USD (\$55,378 MXN) donde el operador

Figura 28: Trompo industrial, Fuente especificada no válida.

posicionaría la lámina a la altura que se desea cortar. Para los finger joints se agrega una fresa especializada como la de CMT Orange Tools de 143.40 € (\$3,195.83 MXN).

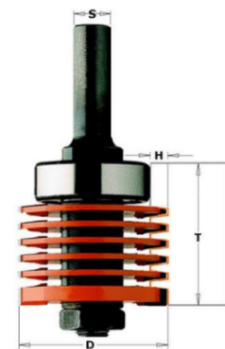


Figura 26: Fresa finger joint (Comercial Pazos, s.f.)

El pegamento se puede añadir de manera manual por dos técnicos y para el prensado, realizado por el técnico 7, se puede utilizar una prensa de alta frecuencia como la de

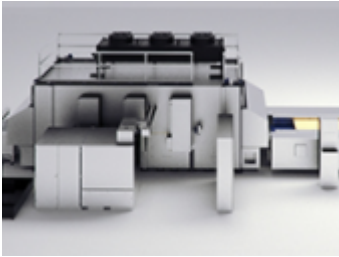


Figura 29: Prensa de alta frecuencia, Fuente especificada no válida.

Kallesoe Machinery donde el prensado sucede al mismo tiempo que el curado, evitando la espera de 24 horas y obteniendo una producción de 60 m³/7.5 horas. El precio de la máquina es de €750,000 (16.81 millones de pesos). Existe la posibilidad de reducir el costo al mandar a hacer una prensa a la medida que cumpla con las especificaciones para este proceso como, por ejemplo, con Fluidica, quienes se dedican al diseño y manufactura de prensas hidráulicas.

El cepillado puede realizarse como se había presentado anteriormente por el técnico 3. Para los cortes a medida se puede utilizar un Router CNC, a cargo del técnico 8. Sin embargo, como se trabaja con paneles grandes, es necesario que sea de gran dimensión como el de 2.5 x 6.1m de Techno CNC con un costo de \$96,800 USD (1.85 millones de pesos). Debido al gran volumen de madera a lo largo de la planta, es necesario contar con un montacargas como el de Big Joe de 76" con un costo de \$1,216,260 MXN operado con un montacarguista con percepción de \$9,000 mensuales.



Todos estos procesos estarán siendo supervisados por dos ingenieros con una percepción individual de \$20,000. Estos mismos ingenieros fungirá también como ingenieros de producción, mantenimiento y diseño de CAD.



Figura 31: Montacargas (Grainger, s.f.)

Dentro del área administrativa se tendrán dos licenciadas encargadas del área de compras, ventas y administración con una nómina individual de \$15,000. Además, se tendrá un gerente con una percepción de \$30,000.

Para la fábrica se tomó en cuenta una bodega de 2500 m² con una renta mensual de \$95,000 MXN ubicada en la calzada Juan Pablo II.



Figura 32: Bodega (Inmobiliaria Roble, s.f.)

Se tomó en cuenta como gastos indirectos de fabricación los siguientes:

- Luz: \$250,000.00
- Teléfono e internet: \$1,000.00
- Agua: \$2,000.00

Estos gastos son solo un estimado de lo que podría gastar una planta de estas dimensiones.

Por otro lado, la madera se puede adquirir en el aserradero de San Juan Nuevo a un precio aproximado de \$15/pie tabla (una tabla de 1 ft de largo x 1 ft de ancho x 1 in de espesor). Mientras que el adhesivo puede ser el Lockweld II con un costo de \$650/galón. Dicho galón rinde aproximadamente para pegar 229 pies cuadrados. No se puede realizar un estimado de costos ya que depende de las capas que se requerirían para hacer el CLT o gluelam dependiendo de su función estructural.

Sin embargo, contando un 20% de mermas por cortes o desperdicios por nudos en la madera, el metro cuadrado de CLT con tres capas (0.0762 m de espesor total) requeriría 10.8 tablones (\$162) y 0.094 galones (\$61.31) con un costo total de \$223.31, menos el 20% de mermas sería un \$267.97. Tomando en cuenta la densidad mayor de 540 kg/m³, en un metro cuadrado se tienen 41.15 por lo que el costo de materia prima por kg es de \$6.51.

2.4 Desarrollo arquitectónico

Algunas de las problemáticas más importantes que se abordan y se toman como condicionante para la elaboración del proyecto son: la expansión horizontal de la ciudad

hacia la periferia, que afecta la densidad poblacional del centro de la ciudad, y el uso masivo de materiales constructivos contaminantes.

Para las problemáticas de expansión y descentricación se propone un proyecto habitacional plurifamiliar ubicado en el centro de la ciudad, tomando en cuenta que la mayoría de las personas a las que está enfocado este proyecto conservan un nivel socioeconómico medio-bajo, ya que son las que necesitan trasladarse grandes distancias generando tráfico y contaminación para llegar a su trabajo. Por estas razones, la amplitud de los espacios dentro de las viviendas se diseñó a partir de un criterio de medidas antropométricas mínimas para alcanzar un máximo de metros cuadrados razonable al costo que puede pagar este nivel socioeconómico.

El proyecto se propone en un sistema constructivo no convencional en México basándose en el uso masivo de la madera certificada, de procedencia sustentable, con el fin de utilizar el proyecto como punto de partida o como ejemplo de sistema constructivo viable y sustentable con el fin de promover su uso entre los constructores.

El proyecto consta de un edificio de uso mixto, es decir, comercio y vivienda, de 5 niveles ubicado en Av. Fray Antonio Alcalde 247, esquina con Reforma, Zona Centro, 44890 Guadalajara, Jal. Los sistemas constructivos propuestos para la construcción del edificio son: concreto reforzado para las zapatas de cimentación, madera *CLT* para losas y vigas; y madera *gluelam* para columnas y muros.



Figura 33: Predio

El edificio se desplanta a partir de la esquina superior derecha del terreno dejando un espacio público para los comercios en colindancia con los vecinos.

En la planta baja del edificio se encuentra una planta libre para los comercios dividida, en la fachada de Av. Fray Antonio Alcalde, por un lobby para el ingreso a los departamentos

ubicados en las plantas 2,3,4 y 5. Cada una de las plantas contiene 6 departamentos que se dividen de la siguiente forma: 2 de 1 recámara (color verde), 2 de 2 recámaras (color azul) y 2 de 3 recámaras (color amarillo). La azotea cuenta con un espacio libre, también llamado *roof garden*, y otro espacio dedicado a las instalaciones hidráulicas, eléctricas y de drenaje. El proyecto arquitectónico se encuentra en el Anexo B.



Figura 34: Plano del piso



Figura 35: Render del edificio

2.5 Desarrollo de análisis estructurales

Se realizaron tres análisis estructurales del edificio propuesto por los arquitectos con acero, concreto y madera. Estos análisis se encuentran en los apéndices B, C y D. Para el análisis de concreto se debió modificar, ya que las secciones de pre dimensionamiento no cumplían. El costo de las estructuras se podrá ver en la tabla 2 donde se podrá realizar una comparación.

Material	Costo
Acero	\$6,494,142.83
Concreto	\$5,560,047.67
Madera	\$3,366,370.62

Tabla 2: Costo del edificio

2.7 Trabajo independiente en el taller de carpintería

En el taller de carpintería de ITESO se trabajó con madera para crear elementos de escala real utilizando el sistema de madera laminada, y así, hacer pruebas de resistencia a flexión e incendio en vigas y columnas.

Se seleccionaron tres tipos de madera mexicanas para elaborar los elementos estructurales basándose en la fácil adquisición en aserraderos certificados en México para así construir un sistema constructivo de fácil obtención y evitar costos de importación. Éstas se clasificaron según su densidad (baja, media y alta). A continuación, se presenta la descripción de la ficha de información y las respectivas fichas de las maderas seleccionadas.

FICHA DE INFORMACIÓN				CH > PSF	
Nombre Botánico			Densidad		
Nombre Común			Peso seco Volumen verde (kg / m ³)		
Flexión Estática Módulo de Elasticidad (kg / cm ²)	Compresión Paralela Módulo de Elasticidad (kg / cm ²)	Dureza Janka Lateral (kg)	Dureza Janka Transversal (kg)		
Flexión Estática Resistencia al Límite Elástico (kg / cm ²)	Compresión Paralela Resistencia al Límite Elástico (kg / cm ²)	Compresión Perpendicular Resistencia al Límite Elástico (kg / cm ²)			
Flexión Estática	Compresión Paralela	Cortante Paralela			

<i>Pinus montezumae</i>			420		
Pino moctezuma					
78900	77800	230	265		
285	153	210			
500	215	150			

<i>Pinus leiophylla</i>			435		
Pino chino					
70000	79900	190	275		
315	160	220			
510	220	160			

<i>Pinus pseudostrobus</i>			540		
Pino blanco					
134000	103600	335	395		
325	225	305			
585	310	65			

Figura 37: Clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas (Sotomayor, 2008)

La madera se cortó en tablas de mismo tamaño. Posteriormente se cepilló y se canteó por ambas caras para obtener la misma altura y el mismo ancho. Se clasificó dependiendo su densidad para el diseño de las vigas, columnas y losas con el fin de darle mayor eficiencia a

los elementos estructurales. Por último, se pasó cada tabla por el trompo para hacer el *finger joint*. Este último paso se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 38: elaboración de *finger joint*

Para futuros proyectos, se utilizará esa madera para fabricar paneles de *gluelam* y *CLT* posteriormente realizar pruebas mecánicas.

3. Resultados del trabajo profesional

En este capítulo se presenta el estimado de la inversión inicial y costo mensual de la fábrica, así como el análisis del punto de equilibrio de la fábrica.

3.1 Costos generales de la planta industrial

La planta industrial se resume de la siguiente manera:

Maquinaria	Costo
A-grader	\$ 2,580,000.00
Moisture meter	\$ 5,966.00
Horno de secado	\$ 762,936.00
Cepilladora	\$ 65,593.73
Canteadora	\$ 9,929.60
Trompo	\$ 55,378.00
Fresa <i>finger joint</i>	\$ 3,195.83
Prensado	\$ 16,810,000.00
CNC	\$ 1,850,000.00
Montacargas	\$ 1,216,260.00
TOTAL DE INVERSIÓN	\$ 23,359,259.16

Tabla 3: Costos de maquinaria

Mano de obra directa	Costo
Técnico 1	\$ 9,000.00
Técnico 2	\$ 9,000.00
Técnico 3	\$ 9,000.00
Técnico 4	\$ 9,000.00
Técnico 5	\$ 9,000.00

Técnico 6	\$	9,000.00
Técnico 7	\$	9,000.00
Técnico 8	\$	9,000.00
Montacarguista	\$	9,000.00
Ingeniero 1	\$	20,000.00
Ingeniero 1	\$	20,000.00
TOTAL	\$	121,000.00

Tabla 4: Costo de mano de obra directa

Mano de obra indirecta	Costo
Compras	\$ 15,000.00
Ventas	\$ 15,000.00
Gerente	\$ 30,000.00
TOTAL	\$ 60,000.00

Tabla 5: Costo de mano de obra indirecta

Gastos indirectos de fabricación	Gastos
Renta	\$ 95,000.00
Agua	\$ 2,000.00
Luz	\$ 250,000.00
Teléfono e internet	\$ 1,000.00
TOTAL	\$ 348,000.00

Tabla 6: Gastos de fabricación

De esta forma, el costo mensual para mantener la planta es de \$511,000.00 MXN sin contar los gastos extras que pueden surgir como el mismo mantenimiento de los equipos. Al tomar en cuenta una inversión lineal a 10 años de la maquinaria, la mensualidad sería de \$194,660.49 sumado con el costo mensual de la planta se tiene un total de \$723,660.49. Suponiendo que la planta puede fabricar 400 toneladas al mes, el costo de la fábrica por kg es de \$1.80. Por lo que, contando los \$6.51 de materia prima, el costo total de la madera es de \$8.31.

3.2 Cálculo de utilidades

La utilidad de los departamentos y locales se presenta en la siguiente tabla.

Inmueble	Costo individual	Cantidad	Costo total
Departamento 1	\$ 700,000.00	8	\$ 5,600,000.00
Departamento 2	\$ 750,000.00	8	\$ 6,000,000.00

Departamento 3	\$ 800,000.00	8	\$ 6,400,000.00
Locales	\$ 650,000.00	6	\$ 3,900,000.00
TOTAL			\$ 21,900,000.00

Tabla 7: Utilidad del edificio

El costo de la producción de la estructura del edificio de madera es de \$3,366,370.62. Tomando en cuenta que el costo de la estructura equivale a un 30% del costo total, las cimentaciones un 40% y los acabados un 30%, el costo total del edificio es de \$11,221,235.04 con una utilidad de \$10,678,765.00

4. Reflexiones de los alumnos

Diana:

Con el fin de realizar el proyecto asignado genere diferentes conocimientos de materias complementarias a mi profesión. Por la parte electrónica, trabajé circuitos eléctricos con Arduino y aprendí como realizar un puente de Wheatstone, así como la importancia de analizar si los problemas presentados provenían de la parte analógica o digital. De la parte industrial, apliqué la implementación de costos en mano de obra, gastos indirectos de fabricación y la maquinaria, así como no buscar la mejor máquina sino la más viable para el proceso deseado y su presupuesto.

Además, aprendí sobre distintos sistemas constructivos, especialmente la madera. Este proyecto cambió mi perspectiva sobre la madera ya que la consideraba con baja resistencia al fuego y con baja resistencia estructural comparada con el concreto. Sin embargo, al ir investigando y conociendo, descubrí que es una excelente alternativa con grandes beneficios ecológicos. Considero que este proyecto tendría un impacto positivo en la ZMG ya que serviría como pionero para futuras construcciones. De esta forma, contribuiríamos a disminuir la huella ecológica y el uso de automóvil al localizar estas construcciones cerca del transporte urbano masivo. También, considero que es de gran utilidad utilizar edificios mixtos ya que fomenta a las personas a vivir en esas edificaciones por la cercanía de los negocios y la facilidad para trasladarse caminando o en bici.

Creo que estos conocimientos me serán de gran utilidad cuando quiera construir una vivienda ya que uno de los conocimientos que más me llevo es que es más importante el diseño estructural y como se distribuyen los esfuerzos a lo largo de la estructura que el material utilizado por lo que una casa de adobe con una excelente distribución podría soportar mejor que una estructura de concreto con pésima distribución.

Zaid:

En cuanto a mi reflexión de aprendizajes profesionales, considero que logré desarrollar mis habilidades de trabajo en equipo, tanto participativo, competitivo y de resolución de problemas. En las distintas disciplinas empleadas en el proyecto pude trabajar en la habilidad de comprensión para adquirir nuevos conocimientos de diferentes áreas.

En nuestro proyecto en particular se tomaron en cuenta temas de ámbito social, económico y problemáticas ambientales, en las cuales aprendí a analizar de forma lógica y coherente las necesidades del proyecto para satisfacerlas correctamente.

Fue muy motivador el concepto del proyecto para tomarlo como ejemplo en mi vida profesional porque sentí una sensibilización real con el medio ambiente a la hora de ver la problemática y las necesidades.

El objetivo del proyecto en sí, pretende innovar en la calidad de vida social por medio de la creatividad, es ahí donde se intervino la realidad actual de la sociedad. Mi capacidad de preparar un proyecto con objetivos de mejora social incrementó tomando en cuenta los parámetros socioeconómicos que se tomaron para el diseño del proyecto.

El impacto del proyecto se evidenció por medio de los resultados obtenidos en la investigación anterior a la propuesta, éste impacto socioeconómico y de calidad de vida se esperaban desde la naturaleza del proyecto, el cual va enfocado a un nivel socioeconómico medio-bajo.

Mis servicios profesionales aportaron una propuesta arquitectónica pensada para un usuario específico basado en su estilo de vida para aumentar su calidad de vida, lo que genera un bien social para este grupo social y mejora el entorno general.

Seguramente, si el proyecto se lleva a cabo y sirve de iniciativa para el crecimiento en el uso de este material, crecería de forma significativa un sector económico importante para el país. Al tomarse en cuenta este tipo de ámbitos como propósito a mejorar con este proyecto, se vuelven transferibles y de sensibilización para los interesados en el proyecto.

Mi visión sobre la realidad social actual se ha sensibilizado indudablemente, ya que en la información previa recabada me logré dar cuenta del impacto que tiene la construcción en el mundo social, cultural, económico y medioambiental.

Una de las principales decisiones que tomé en la elaboración del proyecto, fue la al decidir la calidad espacial para los usuarios, el producto que se entregaría al consumidor, tener la empatía y la ética de ofrecer un espacio que lograra satisfacer sus necesidades y expectativas.

Este PAP me ayudó a conocer mi lado humano y combinarlo con la profesión, tomar en cuenta al usuario, al medio ambiente y todo lo que perjudica un proyecto para diseñar. Aprendí que se debe trabajar de forma ética y profesional para brindar a la sociedad un buen servicio y ser un ciudadano que pone su granito de arena a la comunidad.

Gerardo:

El involucrarme en este proyecto fue una experiencia distinta, no solo porque es un proyecto más tangible, comparados con los se realizan a lo largo de la carrera, sino el sistema constructivo que se utiliza que se utilizó, abordando un proyecto de tales características en el cual se involucren la utilización de un material poco destacado en la construcción convencional y poco conocido en México. Considero que el trabajo que realizando durante este semestre reforzó conocimientos en arquitectura, como el diseño un edificio con un sistema constructivo alternativo que no es

visto con normalidad en México específica como lo fue el diseño de un edificio sustentable con un sistema constructivo que actualmente no se usa en México, que brinda una mejor eficiencia en su construcción, en el medio ambiente y en costos. También se tuvo la oportunidad de participar en actividades como el armado elementos estructurales en el taller de carpintería.

Arturo:

Haber seleccionado este programa PAP dos veces fue una muy buena oportunidad para conocer mis aspiraciones como ingeniero civil después de egresar. Al seleccionar el curso fue porque yo tenía la intención de direccionar mi camino profesional al área de sustentabilidad, aunque mi panorama era general. Fue hasta este semestre que empecé a identificar mis gustos profesionales. Gracias a las prácticas, pláticas y el proyecto que elegí puede identificar las áreas de oportunidad a las que quiero aspirar. También este curso fue un reto para mí debido a que a la par inscribí una materia de Algoritmos numéricos con la intención de apoyar al Dr. Nayar a desarrollar un algoritmo genérico en MatLab. Fue hasta que empecé a practicar en este programa que me di cuenta que iba a lograr el objetivo deseado, debido a que mis conocimientos con el programa no estaban bien desarrollados. No obstante, decidí mejor dedicarle más tiempo de trabajo a mi proyecto PAP de madera masiva, el cual de igual manera presentó retos interesantes. Como ingenieros civiles nos tocó desarrollar los cálculos necesarios mediante STAAD Pro para conocer el comportamiento estructural de tres edificaciones diferentes, una estructura metálica, una de concreto y la más importante, una estructura de madera contralaminada. El propósito del desarrollo de estas estructuras es conocer cuál sistema estructural es más eficiente y realizar un presupuesto de la estructura que nos permitiera ver y comparar si el sistema de madera contralaminada es un proyecto viable en la ZMG. Mi equipo me pareció muy completo, trabajamos diferentes áreas que nos permitió darle un enfoque más real y general del proyecto.

En cuanto al curso, la práctica que no solo me enseñó cosas teóricas, sino que también me dejó una lección personal, fue la asignación directa al equipo de madera masiva sobre el

diseño y ejecución de una estructura de madera que permitiera simular sistemas constructivos a escala 1:1. La parte interesante de este proyecto fue que al desarrollar el proyecto a papel, mediante los planos y la ficha técnica de instalación parecía resuelto de manera eficiente pero al momento de llevar este proyecto a la práctica fue donde empezaron los problemas. El proyecto inició bien, de forma que la barrenación de las maderas iba bien. El momento que torno al proyecto en una situación complicada fue cuando los ángulos propuestos no existían y los más parecidos no se podían barrenar debido al espesor de la placa. En este punto, nuestro proyecto ya no se podía realizar de la manera esperada y se tuvo que buscar una solución alterna con los materiales que se tenía.

La lección que me dejó esta actividad es acerca de lo mucho que se pareció a una situación real en el ámbito laboral. Pude ver que como equipo tuvimos la culpa debido a que el plano y el manual fue desarrollado por Zaid, uno de los arquitectos que participan dentro del proyecto de madera masiva. Aunque el diseño y el acomodo de las piezas fue propuesto por todos lo integrantes, faltó un monitoreo y un control del proyecto antes a la ejecución. Gracias a que no se revisó de manera eficiente la existencia de los ángulos propuestos, el proyecto no se pudo ejecutar de manera exitosa. Esto en el ámbito laboral hubiera costado dinero y nos hubiera metido en problemas con el cliente.

Gracias esta actividad me doy cuenta, que todo lo que hacemos cuenta y tiene una razón de ser. Desde el desarrollo del protocolo, buscar objetivos, justificación, antecedentes y el desarrollo experimental/práctico, sirven para fundamentar y encontrar el camino óptimo para el desarrollo del proyecto. Quedó satisfecho con el trabajo realizado durante el semestre, pero sé que puede haber trabajado con mayor eficiencia en algunas áreas. Me quedé un poco insatisfecho con el producto del edificio de madera, debido a que mis conocimientos sobre el tema son limitados, no tengo la experiencia de simular una estructura de madera y menos con un sistema contralaminado. Lo que si me queda claro, es que cada vez que lo hago mejora mi calidad y encuentro detalles que no veía en el primer proyecto.

El equipo de trabajo fue bueno, nos entendimos bien entre todos y cada uno realizaba las actividades que le correspondían. Hubo quien tomó el liderazgo del equipo y dirigió para que el proyecto diera los resultados obtenidos. Debo agradecer a Cristian Hernández por su apoyo y gran aporte de conocimiento en este tema, que nos ayudó a generar un proyecto real y ejecutable.

Enrique:

A unos días de terminar este proyecto de aplicación profesional me siento muy satisfecho y sobre todo entusiasmado con los resultados obtenidos. Este proyecto fue una prueba muy importante y una oportunidad de poder aplicar mis conocimientos obtenidos durante 8 semestres de universidad. En un principio me interesó por el curso de diseño por las críticas positivas que había escuchado sobre el programa, pero fue complementado con mi interés por algunos temas como la sustentabilidad y la construcción con materiales alternativos.

Al término de este curso creo que fue muy productivo ya que la mayoría de las dudas con las que ingresé sobre los temas que antes mencioné me fueron resueltas, pero de igual manera durante el proceso me surgieron nuevas dudas y creo que es parte importante ya que es evidencia de la profundidad que se le dio a las diferentes vertientes del proyecto.

De igual manera convivir con otro tipo de proyectos sin estar cien por ciento relacionado es muy beneficioso para el crecimiento de todos los alumnos. La multidisciplinariedad es una capacidad que se tuvo que desarrollar o mejorar durante el curso, teniendo un resultado muy positivo en el grupo, aunque se tuvieron algunos problemas por la variedad de conocimientos se supo manejar de la mejor manera en pro de todos los integrantes. También la convivencia con los tutores enriquece en demasía pues son autoridades como en todo lugar existen pero que pueden apoyar con sus conocimientos y consejos para orientar de manera precisa el proyecto.

Otro punto importante fue la colaboración del arquitecto Cristian Hernández para orientar el curso y generar una gran cantidad de información sobre el CLT, asesorías y puntos de apoyo que para el grupo que fueron de gran apoyo.

Hablando un poco de temas concretos de ingeniería civil, las áreas más trabajadas durante el semestre fueron el cálculo, mecánica de materiales, diseño de concreto, acero, madera y revisión de edificaciones por el método sísmico. Y aunque profesionalmente no son los temas que más me llaman la atención me genero mucha confianza poder realizar este tipo de trabajos tan completos que exigen la aplicación de todas esas áreas y al concluir las de manera adecuada en conjunto con mis compañeros creo que refuerza esas capacidades y personalmente les da más valor.

5. Conclusiones

El objetivo del proyecto se cumplió en la parte arquitectónica ya que se desarrollaron los aprendizajes obtenidos durante la carrera para desarrollar un edificio con las características planteadas. Por la parte de ingeniería civil, se presentaron muchos problemas al momento de calcular con madera ya que el procedimiento se realiza de forma muy distinta al acero y concreto, además de utilizar otro software diferente y nuevo. Se hubiera deseado tener más tiempo para realizar dichos cálculos o que todo el PAP estuviera enfocado a esa aparte. Además, fue necesario buscar un asesor con conocimientos de este tipo de sistema constructivo. Por el lado de ingeniería mecánica, el proyecto cambió drásticamente ya que el objetivo principal era desarrollar unos sensores con Arduino pero este microprocesador no puede ser utilizado para estas aplicaciones. Además, se requirieron conocimientos de ingeniería electrónica por lo que, para ese proyecto, se recomienda a un ingeniero electrónico para un mejor desarrollo.

6. Bibliografía

- Alibaba. (s.f.). *Shijiazhuang Saga Machinery Co., Ltd.* Obtenido de Alibaba:
https://www.alibaba.com/product-detail/Vacuum-Microwave-Wood-Dryer-RF-Plywood_60718753643.html?spm=a2700.7724838.2017115.11.5bbb6122FdC26d&s=p
- Arch Daily. (14 de julio de 2019). *Stadthaus, 24 Murray Grove - Waugh Thistleton Architects / Waugh Thistleton Architects.* Obtenido de Arch Daily:

- <https://www.archdaily.mx/mx/02-22097/stadthaus-24-murray-grove-waugh-thistleton-architects>
- Arduino. (2017). *analogRead()*. Obtenido de Arduino:
<https://www.arduino.cc/en/Reference/AnalogRead>
- Comercial Pazos. (s.f.). *Fresa profesional para juntas Finger Joint*. Obtenido de Comercial Pazos: <http://www.comercialpazos.com/fresa-profesional-para-juntas-finger-joint.html>
- Esencial Liva. (s.f.). *Esencial Liva*. Obtenido de <https://liva.com.mx>
- Falcon Engineering. (mayo de 2004). *Timber Grading Equipment*. Obtenido de Falcon Engineering: <http://www.falconengineeringusa.com/grading.html>
- FP Innovations. (2013). *CLT Handbook U.S. Edition*.
- Gobierno de España. (abril de 2009). *Documento Básico Seguridad Estructural Madera*. Obtenido de Código Técnico de la Edificación:
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-M.pdf>
- González, P., Saavedra, E., Pérez, E., Burgos, C., Piña, F., & Wagner, M. (s.f.). *Sistema constructivo en Madera Contralaminada para Edificios*. Santiago de Chile: CLT Chile.
- Grainger. (s.f.). *Montacargas Transportador, 76pulg*. Obtenido de Grainger:
<https://www.grainger.com.mx/producto/BIG-JOE-Montacargas-Transportador%2C-76pulg-/p/32H820>
- Inmobiliaria Roble. (s.f.). *BODEGA RENTA 2,500 M2, CALZ JUAN PABLO II COL.BELISARIO DOMINGUEZ,JAL*. Obtenido de Inmobiliaria Roble:
<http://www.inmobiliariaroble.com/property/EB-BB7295-bodega-industrial-en-mexico-guadalajara-belisario-dominguez>
- Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo. (s.f.). *Hacia una estrategia de Desarrollo Orientado para el Transporte de la ZMG*. Obtenido de ITDP:
<http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/infografía-DOT-gdl.pdf>
- Luis. (s.f.). Acondicionamiento de señales analógicas. *Instrumentación y control*. ITESO.
- Martínez, E. (s.f.). *Conversión Analógico-Digital (ADC)*. Obtenido de Eveliux:
<http://www.eveliux.com/mx/Conversion-Analogico-Digital-ADC.html>
- National Instruments. (25 de mayo de 2016). *Measuring Strain with Strain Gages*. Obtenido de National Instruments: <http://www.ni.com/white-paper/3642/en>
- Parque Irazú. (s.f.). *Parque Irazú*.
- PCE Instruments. (s.f.). *Timber Moisture Meter*. Obtenido de PCE Instruments:
https://www.pce-instruments.com/english/measuring-instruments/test-meters/timber-moisture-meter-kat_152218_1.htm
- Raiker. (s.f.). *CANTEADORA P/MADERA 6 BASICA KNOVA CM-11B*". Obtenido de Raiker: http://www.raiker.com.mx/herramientas-maquinaria-para-taller-canteadoras-cm11bar/p?idsku=441&gclid=Cj0KCQjwprbPBRCHARIsAF_7gDZ4I36WSA2WfMwF2ZwLRqXIdTY9vxcTGunj9YDw4DiGgayWiMYeWmoaApQ0EALw_wcB
- Structural Timber Association. (s.f.). *GLULAM/CLT*. Obtenido de Structural Timber Association: <http://www.structuraltimber.co.uk/timber-systems/glulamclt>
- Universidad Nacional Noroeste de Buenos Aires. (2017). *Caracterización de paneles de madera contralaminada (CLT) fabricados a partir de tablas de Pinus Taeda/Elliottii de bajas propiedades mecánicas*. Obtenido de Congreso

Latinoamericano de Estructuras de Madera: <http://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T4-06.pdf>

Wholesale Power Tools. (s.f.). *Jet 708544 Model JWP-208HH 20" Planer (Helical Head) – 5HP/ 1PH / 230V*. Obtenido de Wholesale Power Tools: <https://wholesalepowertools.com/jet-jwp-208hh-20-planer-5hp-1ph-230v-helical-head-708544#review-form>

WoodWorks. (2012). *Cross laminated timber (CLT) offers a new building system option for non-residential and multi-family construction*. Obtenido de WoodWorks: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/CLT-Solid-Advantages.pdf>

Anexo A: Desarrollo de sensor de deformación unitaria

Marco teórico

Cuando un material está sometido a una fuerza presenta deformaciones unitarias. Estas pueden ser positivas producidas por la elongación debido a la tensión, o negativos producidos por la contracción cuando el material está sometido a la compresión. La deformación unitaria es la proporción del cambio de la longitud con respecto a la longitud original (National Instruments, 2016).



Figura 39: deformación unitaria con fuerzas axiales, National Instruments

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Ecuación 1: deformación unitaria

Esta deformación se puede calcular utilizando una galga extensométrica. La galga presenta una resistencia eléctrica que varía proporcionalmente dependiendo de la deformación unitaria del material en el que está colocado. Su sensibilidad a la deformación está determinada por su factor de galga, conocido como gage factor (National Instruments, 2016).

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

Ecuación 2: gage factor

Conociendo el gage factor, la resistencia del sensor sin fuerzas axiales y la resistencia del sensor con las fuerzas, se puede obtener la deformación unitaria.

$$\varepsilon = \frac{\Delta R/R}{GF}$$

Ecuación 3: deformación unitaria con cambios de resistencia

Para obtener las mediciones de manera automatizada, se puede utilizar un Arduino. Un Arduino es una placa con microprocesadores que obtiene señales analógicas con valores de voltaje entre 0 a 5V por entradas analógicas. Para obtener estos voltajes con una resistencia variable, se requiere armar un puente de Wheatstone.

Un puente de Wheatstone se utiliza para realizar mediciones precisas de resistencias entre 1 a 106 Ω o para medir una cantidad física como la temperatura, el esfuerzo, la intensidad de la luz, entre otras cosas, que provocan cambios en la resistencia (Luis).

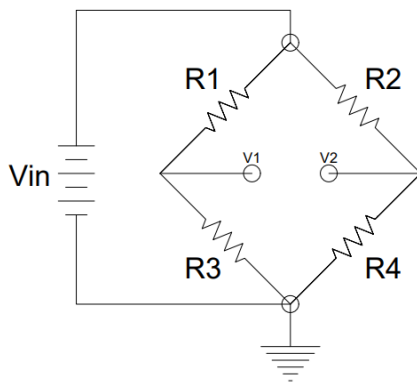


Figura 40: circuito básico de un puente de Wheatstone

El voltaje de salida se calcula de la siguiente manera:

$$V_{out} = V_A - V_B = V_{in} \left(\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right)$$

Ecuación 4: Voltaje de salida de un puente de Wheatstone

Donde:

V_{out} = voltaje de salida

V_A = voltaje en el nodo A

$V_B =$ voltaje en el nodo B

$V_{in} =$ voltaje de entrada

$R_i =$ resistencia

Este puente se puede utilizar sustituyendo una resistencia por el sensor resistivo. Al tener la diferencia de voltajes y conociendo las otras tres resistencias, se puede determinar la resistencia del sensor (Luis).

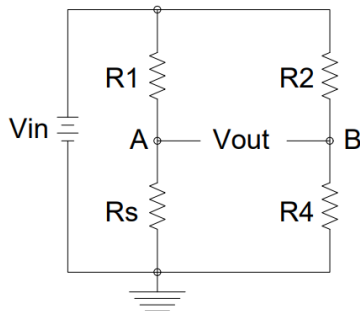


Figura 41: Circuito de puente de Wheatstone con sensor resistivo

Despejando la resistencia del sensor de la ecuación 4:

$$\begin{aligned}V_A - V_B &= V_{in} \left(\frac{R_s}{R_1 + R_s} - \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right) \\ \frac{R_s}{R_1 + R_s} &= \frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \\ R_s &= (R_1 + R_s) \left(\frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right) \\ R_s &= (R_1) \left(\frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right) + (R_s) \left(\frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right) \\ R_s \left[1 - \left(\frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right) \right] &= (R_1) \left(\frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right) \\ R_s &= \frac{(R_1) \left(\frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right)}{1 - \left(\frac{V_A - V_B}{V_{in}} + \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right)}\end{aligned}$$

Procedimiento y resultados

Se armó el circuito como se muestra en el diagrama utilizando una celda de carga tipo S con una galga extensométrica conectado a un Arduino. Después, se midió el voltaje y las

resistencias con un multímetro para obtener su valor exacto. Los valores se presentan a continuación:

$$R_1 = 148.1\Omega$$

$$R_2 = 148.9\Omega$$

$$R_s = 120.6\Omega$$

$$R_4 = 119.0\Omega$$

$$V_{in} = 4.98V$$

Se programó Arduino para obtener el valor de la resistencia del sensor tomando en cuenta los valores obtenidos por el multímetro. Por último, se mandó la información al monitor en serie del voltaje en el punto A, el voltaje en el punto B, la diferencia de voltaje entre A y B, la resistencia del sensor y la deformación unitaria.

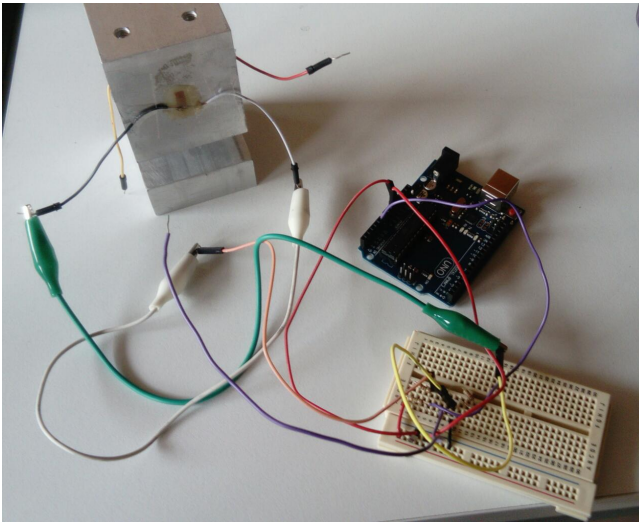


Figura 42: Circuito con galga extensométrica y Arduino

Los códigos utilizados se presentan a continuación:

```
float R1; //valor de resistencia 1
float R2; //valor de resistencia 2
float Rs; //valor de resistencia variable del sensor
float R4; //valor de resistencia 4
float Rso; //valor de resistencia en cero del sensor
```

```

float Vin; //valor del voltaje de entrada
float e; //valor de la deformación unitaria axial
float GF; //valor del gage factor
float VA; //valor del voltaje A
float VB; //valor del voltaje B
float VA2; //valor del voltaje en lectura analógica
float VB2; // valor del voltaje en lectura analógica
float VAB; //valor de la diferencia entre voltaje A y B

void setup() {
Serial.begin(9600); //iniciamos la comunicación serial
Serial.println("valores del sensor"); //se escribe el mensaje en el monitor
R1=148.100;
R2=148.900;
R4=119.000;
Rso=120.600;
Vin=4.98000;
GF=2.060000;
}

void loop() {
VA2=analogRead(A0); //realizar lectura analógica en pin A0
VA=VA2*(5.0/1023); //transforma la lectura a un rango de 0-5V
VB2=analogRead(A1); //realizar lectura analógica en pin A1
VB=VB2*(5.0/1023); //transforma la lectura a un rango de 0-5V
VAB=VA-VB; //diferencia de voltajes
Rs=(R1*(VAB/Vin+R4/(R4+R2)))/(1-(VAB/Vin+R4/(R4+R2))); //la ecuación para calcular Rs
e=(Rs-Rso)/Rso/GF; //la ecuación para calcular GF
Serial.print("VA:"); //Se escribe el texto antes de obtener el valor

```

```

Serial.println(VA,4); //El valor de la variable
Serial.print("VB:");
Serial.println(VB,4);
Serial.print("VAB:");
Serial.println(VAB,4);
Serial.print("Rs:");
Serial.println(Rs,4);
Serial.print("e:");
Serial.println(e,4);
delay(5000); //tiempo de espera para la siguiente medición
}

```

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente figura.

```

VA:2.2581
VB:2.1701
VAB:0.0880
Rs:127.1080
e:0.0262

```

Figura 43: Resultados obtenidos del Arduino

Ya que el valor del sensor resultó diferente al original, se realizaron los cálculos a mano para corroborar la diferencia de voltaje usando la ecuación 4.

$$V_A - V_B = V_{in} \left(\frac{R_s}{R_1 + R_s} - \frac{R_4}{R_4 + R_2} \right)$$

$$V_A - V_B = 4.98V \left(\frac{120.6\Omega}{148.1\Omega + 120.6\Omega} - \frac{119.9\Omega}{119.9\Omega + 148.9\Omega} \right)$$

$$V_{AB} = 0.0138V$$

El Arduino convierte una señal analógica de 10 bits de 0 a 5V en una unidad digital de 0 a 1023. Esto quiere decir, que, si se divide los 5V entre las 1024 unidades, se tiene una resolución de lectura de 4.9mV por unidad (Arduino, 2017). Por consecuencia, si se obtiene una lectura por debajo a esa cantidad, el Arduino la va a redondear a su entero más próximo lo que conlleva a un error de cuantización, que es la diferencia entre el valor registrado en

el formato digital con respecto al valor real (Martínez, s.f.). Por estas razones, la diferencia de voltajes es de 74.2mV y convierte al Arduino en una opción no viable para este proyecto.

Conclusión

Debido al error de cuantización del Arduino, no es posible utilizarlo para el desarrollo de sensores con baja tolerancia. Considerando que los sensores serán utilizados para pruebas con diferentes probetas de madera donde es importante conocer su deformación unitaria, tampoco se recomienda utilizar galgas extensométricas ya que el proceso de instalación en la probeta es muy delicado y laborioso.

Por estas razones, la opción más viable es adquirir un extensómetro Clip on de laboratorio y utilizar una prensa para ensayos de tensiones ya que los clips del extensómetro se instalan con facilidad en la probeta y, al estar sometido a tensión, pueden leer las deformaciones unitarias de dicha probeta.

Anexo B: Análisis de un edificio de acero

Con base a la propuesta arquitectónica, se realizó un modelado en el programa STAAD.Pro V8i para determinar el análisis y diseño estructural del proyecto, que en este caso será el edificio de acero.

El primer paso para desarrollar el modelado estructural es plantear la geometría en el espacio con nodos (puntos) y con trazos lineales entre nodos (beams). Los claros entre nodos y las alturas de entresijos están especificados en el proyecto arquitectónico.

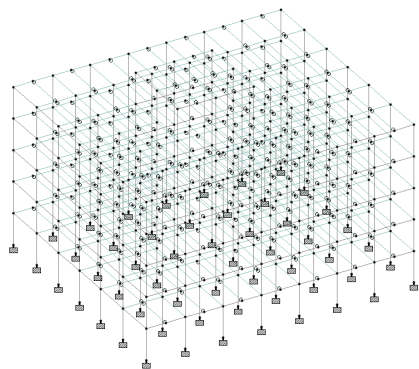


Figura 44 Geometría de la estructura

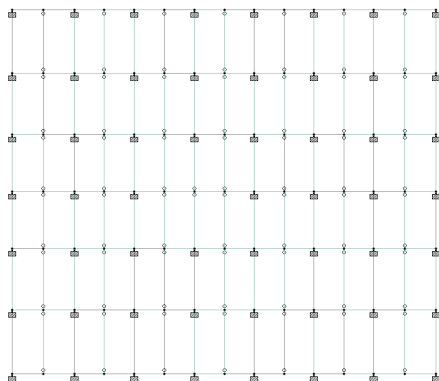


Figura 45 Geometría de la estructura

Al tener la geometría terminado se procedió a determinar el tipo de losas que se iba a utilizar en este proyecto. Se propuso utilizar Steel Deck calibre 22 espesor 6 para las losas de azotea y Steel Deck calibre 22 espesor 8 para las losas de entrepiso. Al tener seleccionado el tipo de losa a utilizar se procedió a realizar un análisis de cargas muertas para conocer el peso por metro cuadrado de losa. Los resultados del análisis de cargas se verán en las siguientes tablas:

Uso: Azoteas

Deck cal 22 esp 6			180 kg/m ²
Concreto	1100 kg/m ³	0.04 m	44 kg/m ²
Impermiabilizante	1200 kg/m ³	0.005 m	6 kg/m ²
Ladrillo de azotea	1800 kg/m ³	0.01 m	18 kg/m ²
Mortero	1800 kg/m ³	0.01 m	18 kg/m ²
Sobre carga			40 kg/m ²
Total			306 kg/m²

Figura 46 Análisis de carga

Uso: Habitacional

Deck cal 22 esp 8			266 kg/m ²
Concreto	1100 kg/m ³	0.06 m	66 kg/m ²
Piso	1850 kg/m ³	0.01 m	18.5 kg/m ²
Pega Piso	1500 kg/m ³	0.01 m	15 kg/m ²
Mortero	1800 kg/m ³	0.01 m	18 kg/m ²
Sobre carga			40 kg/m ²
Total			423.5 kg/m²

Figura 47 Análisis de carga

La propuesta de los perfiles de acero que se utilizaran para viguería principal, secundaria y columnas dependió de la propuesta arquitectónica debido que se tuvieron que buscar los perfiles más adecuados para los espacios propuestos.

Al analizar la propuesta arquitectónica, se propusieron una serie de perfiles con especificaciones americanas. Se propusieron perfiles con estas especificaciones debido a que los tipos de perfiles con estas especificaciones que el programa tiene por default, se asemejan mucho a los perfiles del IMCA (Instituto Mexicano de Construcción en Acero) y que son los perfiles que se pueden encontrar con facilidad en el mercado local.

La primera propuesta de viguería principal fueron perfiles W 14 x 22 que en el IMCA corresponden a 356 x 32.9. Es importante aclarar que la viguería secundaria es parte del sistema Steel Deck y según la norma técnica de este sistema, no deben existir claros con más de 2.10 metros. Teniendo esto en consideración se tuvo que proponer meter viguería

secundaria justo al centro de cada claro (entre viga principal y viga principal) en el sentido Z, como se muestra en la siguiente imagen (viguera principal color rojo):

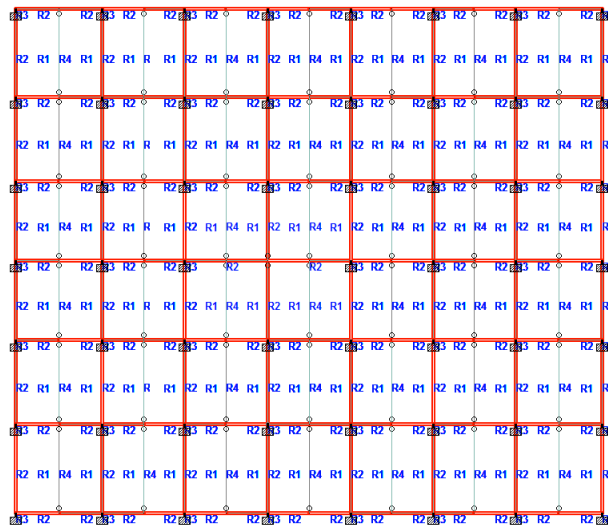


Figura 48 Viguera principal

Contemplando las normas técnicas del sistema, se propusieron perfiles con especificaciones americanas W 6 x 12 que corresponden a un perfil 152 x 18 de las especificaciones del IMCA. La viguera secundaria está representada por el color rojo en la siguiente imagen:

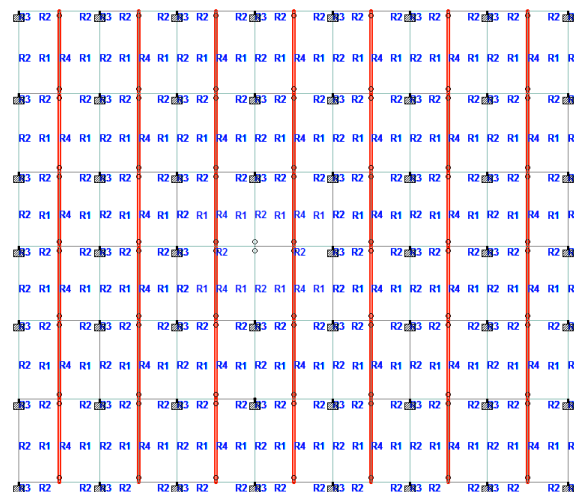


Figura 49 Viguera secundaria

En cuanto a la propuesta de columnas, se propuso solo un tipo de perfil para todos los entrepisos. Las especificaciones también son americanas y el perfil propuesto es un HSS 14 X 14 X 0.625 que corresponde a un perfil del IMCA 356 x 356 x 15.87. En la siguiente imagen

se podrá ver claramente que beams fueron seleccionadas para este perfil (todos los beams en el sentido Y):

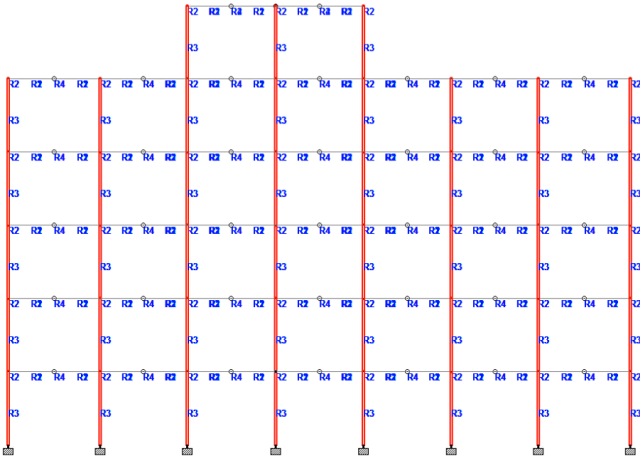


Figura 50 Columnas

Para indicar que existen losas y que el programa entienda que existe rigidez entre las vigas, se utilizó el comando plate thickness para indicar el espesor de la losa. En la siguiente imagen se podrá ver claramente cada plate generado en la estructura. Esta selección es en vista de planta.

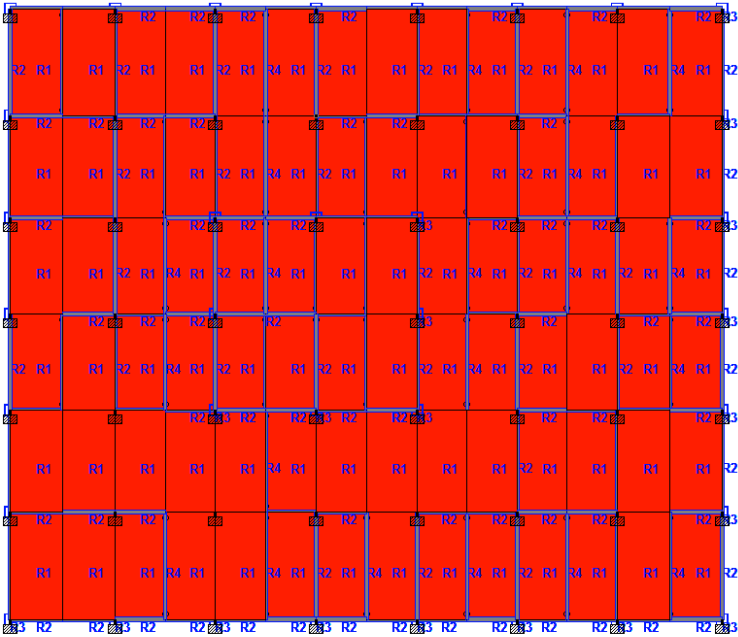


Figura 51 Plates

Teniendo la preselección de los tipos de perfil, es importante determinar el tipo de material con el que se va a trabajar y diseñar. Para los elementos tipo viga y columna se indicó que son material de acero. Para las losas se indicó que son elementos de concreto con densidad 0 (CONLOSA) solo para que el programa entienda que son sólidos, pero el valor real del peso de la losa se sacó mediante el análisis de cargas. En la siguiente imagen se puede ver que los elementos tipo columna y viga se les asignó el material de STEEL y para la losa se seleccionó con un material creado que se llama CONLOSA.

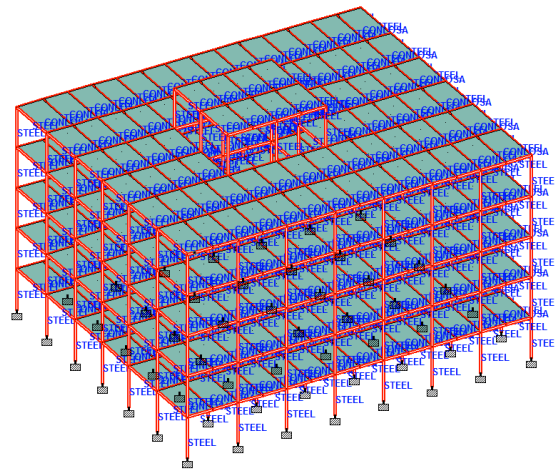


Figura 52 3D estructura

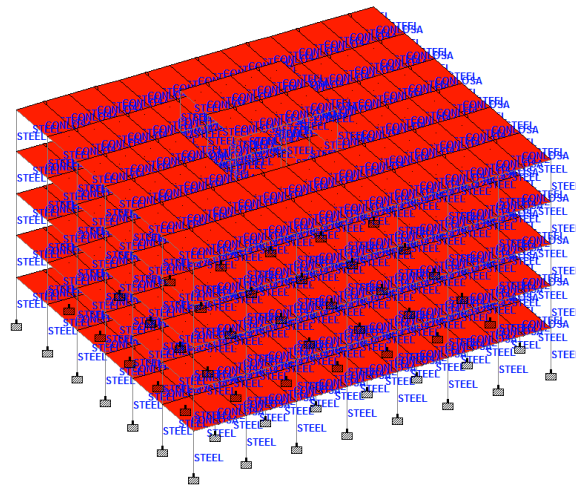


Figura 53 Losas de entrepiso

Al tener definidos el tipo de material, especificaciones y tipo de perfiles para cada elemento, se procedió a generar grupo. Se generaron grupos con el fin de delimitar los elementos tipo

losa y viga de un entrepiso para poder aplicarle las combinaciones de cargas. Se le dio el nombre de _E1, _E2, _E3, _E4, _A1 y _A2 a los 5 diferentes niveles. En las siguientes imágenes se podrán ver los entrepisos seleccionados. La selección de entrepisos es importante debido que en este paso es donde se considera que existe un hueco de elevadores y de escaleras en cada nivel.

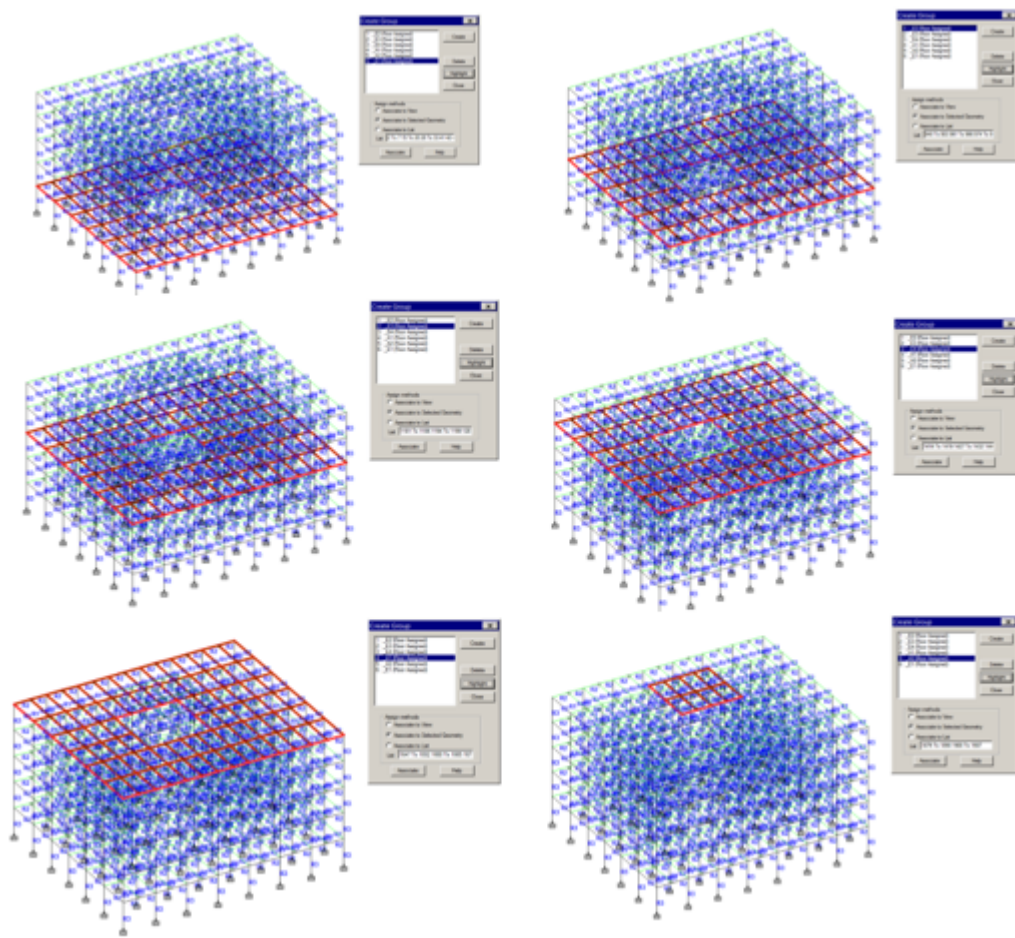


Figura 54: Adjudicación de nivel

Al terminar con la selección de entrepisos, es importante realizar e indicar que las vigas secundarias y primarias que tengan conexión de momento, tienen un release en m_z , m_x y m_y . Esto quiere decir que le permitiremos generar momentos en esos elementos, ya que así trabajan.

Teniendo estas especificaciones, ya se podrá asignar las cargas a los entrepisos y azoteas. Las cargas muertas se sacaron mediante el análisis de cargas, mientras, que las cargas vivas se obtienen de la tabla de cargas vivas unitarias del reglamento de construcción del distrito federal. Las cargas vivas utilizadas para entrepiso son de 170 kg/cm² y las de azotea son de 100 kg/cm². De la misma tabla se obtuvieron las cargas vivas accidentales que son 90 kg/cm² y 70 kg/cm², respectivamente. Se deberá asignar una carga muerta negativa para que el programa entienda que son gravitacionales. De igual manera con las cargas vivas y cargas vivas accidentales. Es importante que en la definición de cargas muertas se indique que también considere el peso propio de los elementos.

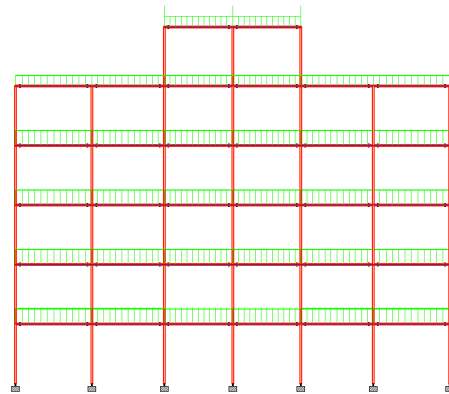


Figura 55: carga muerta

En la figura anterior se ve representado las cargas muertas en una dirección, pero la representación de las cargas vivas es la misma, lo único que cambia es el tipo de carga y el valor. Se determinó que es en una dirección, ya que de esa manera deben de trabajar las losas Steel Deck que seleccionamos anteriormente.

Teniendo la asignación de cargas muertas, vivas y accidentales listas, el edificio ya puede realizar un análisis de los elementos, arrojando graficas de momentos, cortantes y desplazamientos de esos elementos. Ya que ya cuenta las características necesarias para analizar el edificio, pero no significa que el proceso haya terminado porque faltan definir parámetros de diseño, aplicarle el método dinámico y cargas laterales para determinar si la propuesta es correcta.

Hasta el momento, la estructura considera cargas gravitacionales, pero es necesario introducir y considerar cargas laterales (cargas sísmicas). Para estas consideraciones, fue necesario definir que el proyecto trabajara bajo los parámetros establecidos del Manual de construcción de la CFE 1993.

Para los parámetros sísmicos se consideró el tipo de estructura, zona sísmica y los coeficientes sísmicos de la zona. Se podrán ver los parámetros establecidos en el programa con la siguiente imagen.

Type : MEX: CFE - 1993 Include Accidental Load

Parameter	Value	Unit
Zone	3	
Seismic Behaviour Factor X	2	
Seismic Behaviour Factor Z	2	
Group of Structure	B	
Soil Profile Type (STYP)	2	
Regular Structure	Yes	
* Site characteristic period (TS)		
* Period in X Direction (PX)		seconds
* Period in Z Direction (PZ)		seconds

Figura 56 Parámetros de diseño

Considerando estos parámetros se procedió a definir el peso de cada nivel y el peso propio de la estructura para considerar el comportamiento de las masas ante el espectro. Contemplando el comportamiento, se cargó un espectro de sismo de la zona, que hará el cálculo mediante el método dinámico y se obtendrá los modos de vibras, 1, 2 y 3. Por último, se generaron unas cargas laterales S_x y S_z con los parámetros establecidos anteriormente y poder simular el sismo.

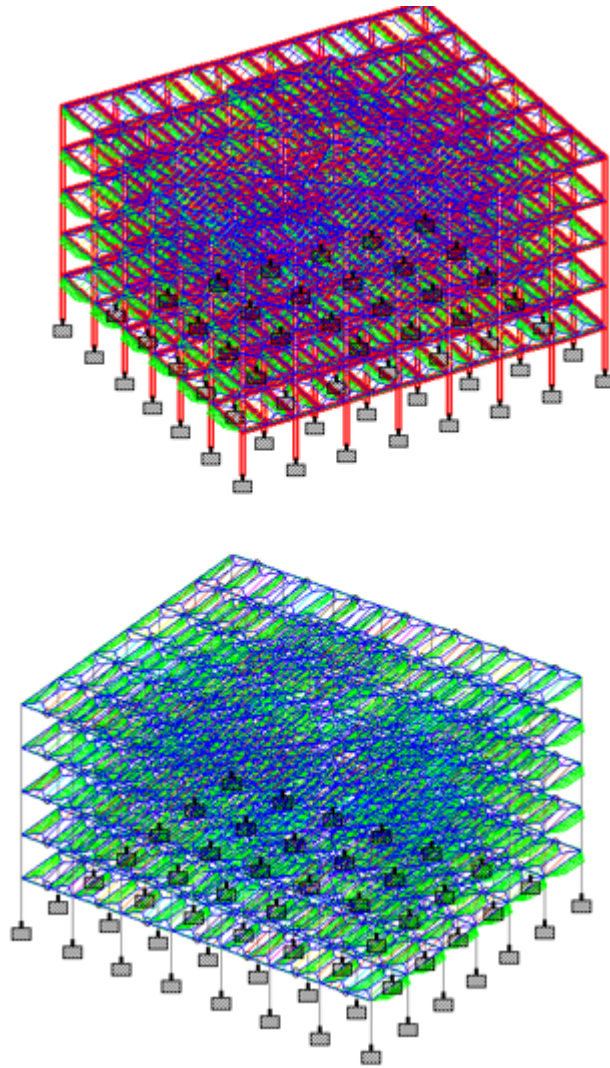


Figura 57: sismo

Como último paso antes de obtener resultados, se deberán asignar los parámetros de diseño con los que se va a diseñar la estructura de acero. En este caso, se optó por utilizar parámetros de diseño del código del AISC 360-10 (American Institute of Steel Construction), se designó comportamiento específico a las vigas, se determinó el F_y y el F_u , el proyecto trabajara acorde al Método LFRD, entre otros parámetros necesarios para poder determinar el diseño de la estructura.

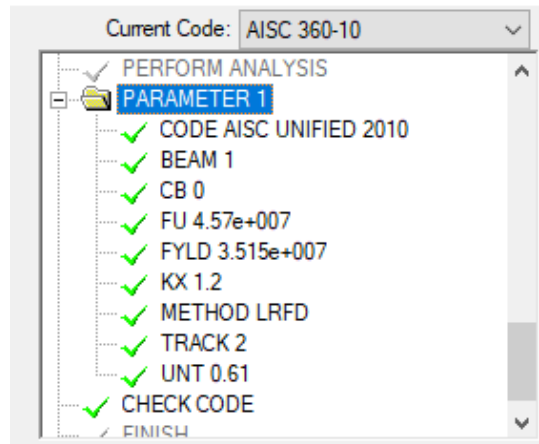


Figura 58: Código y parámetros

Terminando de definir el tipo el código de diseño y los parámetros que se utilizaran, se generó un render de la estructuración, donde se verá de manera más clara los perfiles asignados, las losas y las áreas delimitadas por las geometrías.

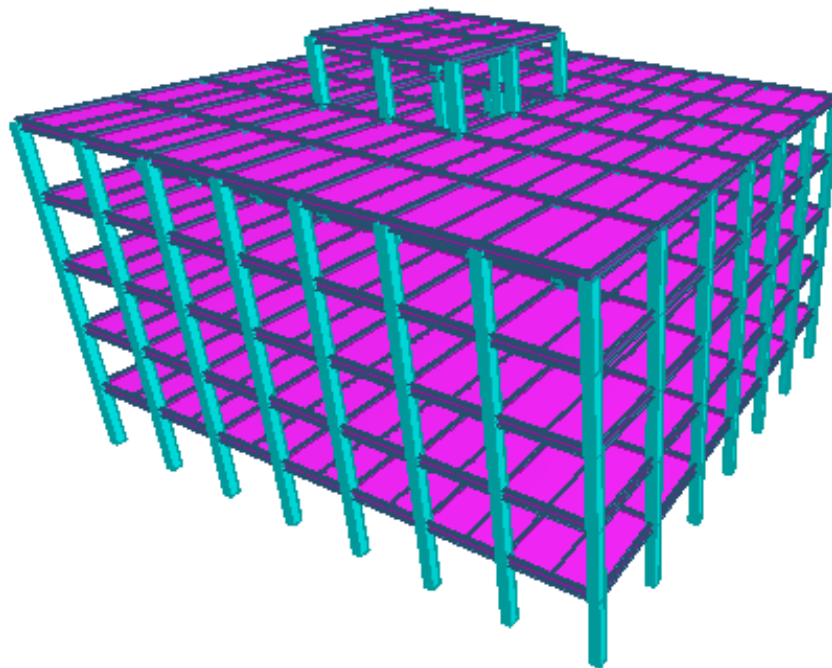
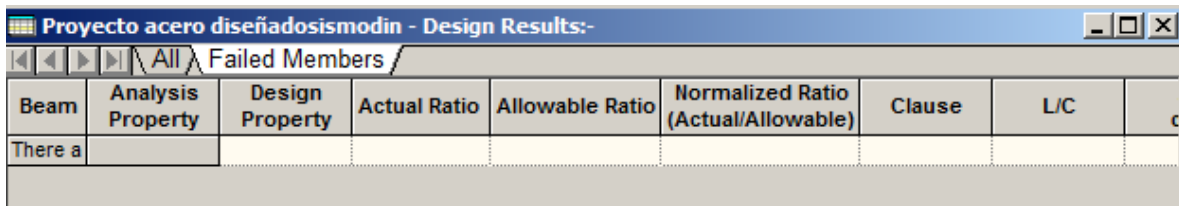


Figura 59: 3D estructura

Resultados de cálculos

Al correr el programa con todas las especificaciones, deberá de arrojar resultados sobre el análisis y diseño de los elementos, donde se proporcionaron datos de las inercias, momentos, cortantes, especificaciones de diseño, periodos, frecuencias, módulos elásticos, entre otros muchos resultados.

Al ser un cálculo de una edificación de 5 niveles, se cuentan con 1907 elementos calculados por el programa, esto no quiere decir que esos serán los elementos en la vida real. Por lo que se revisaron los resultados. En el apartado de postprocessing, en la sección de beams, todos los elementos pasaron con la primera propuesta en acero. Esto quiere decir que se puede generar una optimización que busque disminuir los costos y que los elementos trabajen sin estar sobrados.



Beam	Analysis Property	Design Property	Actual Ratio	Allowable Ratio	Normalized Ratio (Actual/Allowable)	Clause	L/C	c
There a								

Figura 60: Elementos que no pasan

En cuanto a los desplazamientos, se revisaron si los desplazamientos máximos relativos cumplían y estaban dentro de norma. Gracias a las especificaciones dadas, todos los nodos de la estructura pasaron por desplazamientos relativos.

Para demostrar que lo realizado esta correcto, se pondrá la información que de uno de los elementos con mayor claro y se podrá apreciar que si pasaron los elementos.

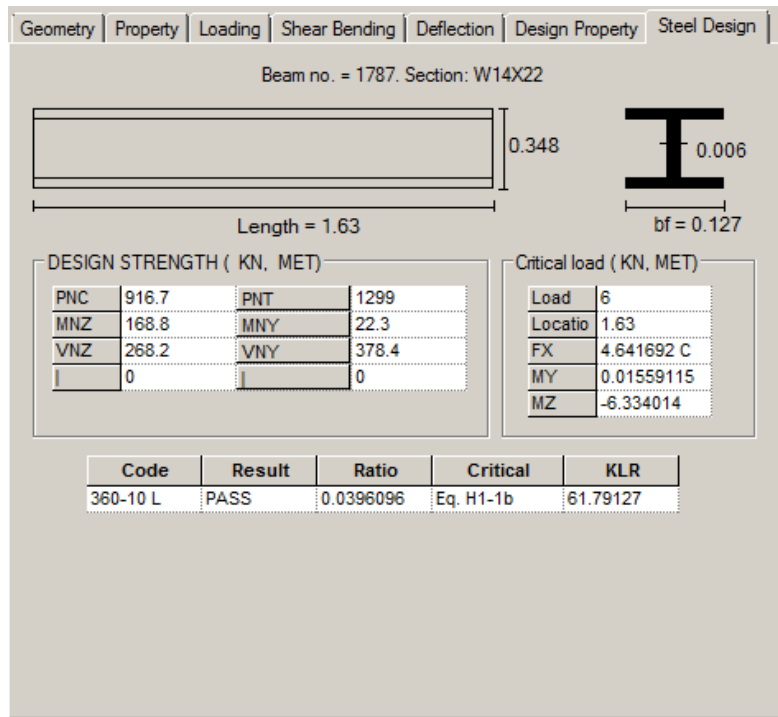


Figura 61: Resultados

Por último, en cuanto a las cargas laterales y el espectro sísmico. El edificio cumple y los periodos en cada modo de vibrar son congruentes uno con el otro. Por lo que se concluye que las estructuras de acero con las características propuestas inicialmente son factibles. En las siguientes imágenes se verán reflejados los modos de vibrar 1, 2 y 3, acorde a las frecuencias, periodos y su comportamiento. Los modos de vibrar de la estructura se verán en orden 1, 2 y 3

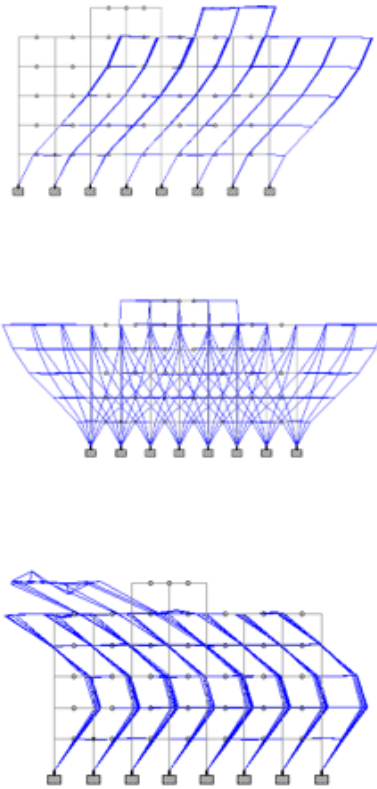


Figura 62: Modos de vibrar

Mode	Frequency Hz	Period seconds	Participation X %	Participation Y %	Participation Z %	Type
1	2.236	0.447	79.815	0.000	0.000	Elastic
2	3.707	0.270	0.001	0.000	0.000	Elastic
3	7.168	0.140	10.629	0.000	0.000	Elastic
4	9.966	0.100	0.037	0.000	0.000	Elastic
5	10.991	0.091	2.608	0.000	0.000	Elastic
6	14.587	0.069	0.018	0.000	0.000	Elastic

Figura 63: Resultados

Conclusiones

Este proyecto cumple con las especificaciones de norma y los resultados son positivos. Para mejorar el proyecto se deberán proponer secciones más pequeñas y verificar si estas pasan para mejorar la calidad, economía y condiciones de la edificación.

Volúmenes y catálogo de conceptos

Como segundo paso, se tiene que calcular la volumetría de la estructura. Que en este caso el costo va en relación con los kilogramos de acero colocados. Primero se realizó un cálculo del peso total de los perfiles utilizados en la estructura y luego se realizó un análisis de precios unitarios para obtener el precio unitario por kilogramos totales de acero el precio total de la estructura. De la misma manera se realizó un análisis de precios unitarios para la losa Steel deck que se utilizó y para conocer el precio total en metros cuadrados. En la siguiente tabla podremos ver los pesos totales de cada perfil y los metros cuadrados de losa de toda la edificación.

Tipo de elemento	Peso por		
	metro lineal (kg/m)	Longitud (m)	kg
W 14x22	32.90	1,572.09	51,721.76
W 6x12	18.00	772.00	13,896.00
HSS 14 x 14 x 0.625	146.00	736.00	107,456.00
		Total	173,073.76

Tabla 8 Relación de kg totales

Con esta información se procedió a realizar el análisis de precio unitario para los elementos que se utilizaron en la estructural (sin contemplar la cimentación).

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

280013 SUMINISTRO Y HABILITADO DE ESTRUCTURA METALICA DE ACERO ASTM-A-36 F'Y=2530 KG/CM2, KG
 SOLDADOS Y/O A TORNILLADOS, (PERFILES IPR, IPS, CPS, OR, OC, TUBOS REDONDOS, PTR,
 REDONDOS SOLIDO, SOLERAS Y PLACAS, ETC, DIFERENTES DIMENSIONES Y CALIBRES,) PARA
 COLUMNAS, ARMADURAS, TRABES Y VIGAS, DE ACUERDO A PLANOS DE DETALLES. INCLUYE:
 MATERIALES MENORES Y DE CONSUMO, TRAZO, CORTES, AJUSTES, DESPERDICIOS, ENDEREZADO,
 BISELADO, DESCALIBRES, BARRENOS, SOLDADURA, UNA PRUEBA RADIOGRAFICA POR CADA 500
 KG. DE ACERO, FLETES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Materiales					
ACEASTMA2530	ACERO ASTM-A-36 F'Y=2530 KG/CM2	KG	1.03000	\$ 15.00	\$ 15.45
103215-1105	Soldadura e-6018 de 1/8" a 1/4"(3 a 6mm)	kg	0.03000	\$ 36.00	\$ 1.08
Suma de Materiales					\$ 16.53
JOGP031	Cuadrilla de soldadores. Incluye :soldador, ayudante, cabo y herramienta.	Jor	0.00833	\$ 762.76	\$ 6.35
Suma de Mano de Obra					\$ 6.35
Equipo					
EQASO001	Soldadora Lincon SAE 300 amp. K1277 mot. Perkins 4236 4 cil 60 hp 1600 r.p.m. (sin operador).	hora	0.01000	\$ 115.02	\$ 1.15
EQAOX001	Equipo de Oxiacetileno par corte (incluye accesorios y consumos) sin operador.	hora	0.01000	\$ 74.72	\$ 0.75
Suma de Equipo					\$ 1.90
Auxiliares					
B1E-10J-100	Prueba radiográfica de soldadura a cordón en estructura metálica. Incluye: placas y reporte de laboratorio.	pba	0.00697	\$ 560.80	\$ 3.91
Suma de Auxiliares					\$ 3.91
	Costo Directo				\$ 28.69
	Indirectos			% 10.0000	\$ 2.87
	Subtotal				\$ 31.56
	Financiamiento			% 0.3000	\$ 0.09
	Subtotal				\$ 31.65
	Utilidad			% 8.0000	\$ 2.53
	Subtotal				\$ 34.18
	Cargos Adicionales			% 0.5000	\$ 0.17
	Subtotal				\$ 34.35

Tabla 9 Análisis de precios unitarios

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO						
SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE LOSA STEELDECK DE CALIBRE 22 ESPESOR 8 Y 6, SOLDADURA Y/O A TORNILLAD. INCLUYE: MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTO, EQUIPO Y DESPERDICIO						M2
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe	
Materiales						
0128-50L	LOSA ACERO SECCIÓN 8 Y 6 CAL. 22	M2	1.20000	\$ 130.00	\$ 156.00	
1551-20	SOLDADURA E-7010 DE 1/8"	KG	0.10000	\$ 31.00	\$ 3.10	
Suma de Materiales					\$ 159.10	
Mano de Obra						
	CUADRILL NO 70 (1SOLDADOR +	JOR				
	AYUDANTE DE SOLDADOR)	JOR	1.00000	\$ 432.50	\$ 432.50	
	AYUDANTE SOLDADOR	JOR	2.00000	\$ 244.75	\$ 489.50	
	CABO DE OFICIALES	JOR	0.05627	\$ 467.72	\$ 26.32	
	HERRAMIENTA MENOR	(%MO	0.04000	\$ 946.32	\$ 37.85	
Suma de Mano de Obra					Suma	\$ 986.17
TOTAL DE MANO DE OBRA			0.08333	Total	\$ 82.18	
Equipo						
	SOLDADOR DE ARCO ELECTRCICO MILLER M MODELO M 1250 CD	Hora	0.01000	\$ 10.27	\$ 0.10	
	TRANSFORMADOR RECTIFICADOR					
Suma de Equipo					\$ 0.10	
Costo Directo					\$ 241.38	
Indirectos					% 10.0000	\$ 32.85
Subtotal					\$ 274.23	
Financiamiento					% 0.3000	\$ 0.22
Subtotal					\$ 274.45	
Utilidad					% 8.0000	\$ 0.09
Subtotal					\$ 274.54	
Cargos Adicionales					% 0.5000	\$ 6.52
Subtotal					\$ 281.06	

Tabla 10 Análisis de precios unitarios

Ya con el análisis de precios unitarios se podrá realizar el presupuesto para la estructura de acero que incluye la vigas, losas y columnas.

GENERADOR ESTRUCTURA DE ACERO Y LOSA DE ENTREPISO						
CODIGO	CONCEPTO	Unidad	Cantidad	P.U.	Total	
1	SUMINISTRO Y HABILITADO DE ESTRUCTURA METALICA DE ACERO ASTMA-36 FY=2530 KG/CM2, SOLDADOS Y/O A TORNILLADOS, (PERFILES IPR, IPS, CPS, OR, OC, TUBOS REDONDOS, PTR, REDONDOS SOLIDO, SOLERAS Y PLACAS, ETC, DIFERENTES DIMENSIONES Y COLUMNAS, ARMADURAS, TRABES Y VIGAS, DE ACUERDO A PLANOS DE DETALLES. INCLUYE: CALIBRES,) PARA MATERIALES MENORES Y DE CONSUMO, TRAZO, CORTES, AJUSTES, DESPERDICIOS, ENDEREZADO, BISELADO, DESCALIBRES, BARRENOS, SOLDADURA, UNA PRUEBA RADIOGRAFICA POR CADA 500 KG. DE ACERO, FLETES, MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTA Y EQUIPO	kg	173,073.76	\$ 34.35	\$ 5,945,083.69	
2	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE LOSA STEELDECK DE CALIBRE 22 ESPESOR 8 Y 6, SOLDADURA Y/O A TORNILLAD. INCLUYE: MANO DE OBRA CALIFICADA, HERRAMIENTO, EQUIPO Y DESPERDICIO	M2	1,953.53	\$ 281.06	\$ 549,059.14	
SUBTOTAL					\$ 6,494,142.83	
(SEIS MILLONES CUATROCIENTOS NOVENTA Y CUATRO MIL CIENTO CUARENTA Y DOS 83/100 PESOS)						

Tabla 11 Generadores

Anexo C: Análisis de un edificio de concreto

El proyecto a desarrollar tendrá una primera propuesta realizada por los arquitectos del equipo. La propuesta tiene como función determinar los espacios y modular la edificación para que se pueda realizar el diseño estructural. Esta propuesta estructural será con estructura de concreto y considerando a la cimentación como empotramiento.

Con base a la propuesta arquitectónica, se realizó un modelado en el programa STAAD.Pro V8i para determinar el análisis y diseño estructural del proyecto, que en este caso será el edificio de concreto.

El primer paso para desarrollar el modelado estructural es plantear la geometría en el espacio con nodos (puntos) y con trazos lineales entre nodos (beams). Los claros entre nodos y las alturas de entrepisos están especificados en el proyecto arquitectónico.

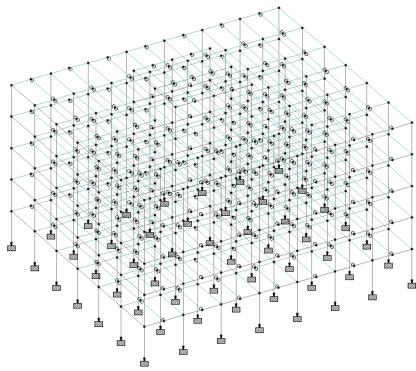


Figura 64: Geometría

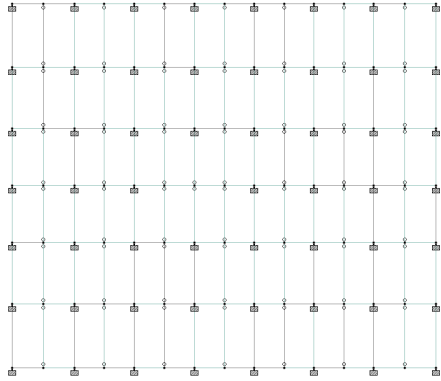


Figura 65: Geometría 2

Al tener la geometría terminado se procedió a determinar el tipo de losas que se iba a utilizar en este proyecto. Se propuso utilizar losa aligerada con casetones de poliestireno. Al tener seleccionado el tipo de losa a utilizar se procedió a realizar un análisis de cargas muertas para conocer el peso por metro cuadrado de losa. Los resultados del análisis de cargas se verán en las siguientes tablas:

CARGA MUERTA DE LOSA DE AZOTEA PLANA, UNIDIRECCIONAL, DE 15 CM, CON CAPA DE COMPRESION DE 5 CM Y ALIGERADA CON CASETONES DE POLIESTIRENO					
Material	Cantidad de Material		Peso de Material		W (kg/m ²)
Impermeabilizante	1	L/m ²	1.33	kg/L	1.33
Mortero	0.02	m	1470	kg/m ³	29.4
Hormigon	0.15	m	1100	kg/m ³	165
Capa Compresion	0.05	m	2400	kg/m ³	120
Concreto Reforzado	0.040	m ³ /m ²	2400	kg/m ³	96.00
Aligerante	8.89	piezas/m ²	8	Kg	71.11
Ladrillo de azotea	0.01	m	1800	kg/m ³	18.00
Enjarre	0.03	m	1500	kg/m ³	45
Sobrecarga					40
				Wcm=	585.84
				Wcm FINAL=	586

Tabla 12 Cargas muertas entrepiso

CARGA MUERTA DE LOSA DE ENTREPISO, UNIDIRECCIONAL, DE 15 CM, ALIGERADA CON CASETONES DE POLIESTIRENO					
Material	Cantidad de Material		Peso de Material		W (kg/m ²)
Impermeabilizante	1	L/m ²	1.33	kg/L	1.33
Mortero	0.02	m	1470	kg/m ³	29.4
Hormigon	0.15	m	1100	kg/m ³	165
Capa Compresion	0.05	m	2400	kg/m ³	120
Concreto Reforzado	0.040	m ³ /m ²	2400	kg/m ³	96.00
Aligerante	8.89	piezas/m ²	8	Kg	71.11
Enjarre	0.03	m	1500	kg/m ³	45
Sobrecarga					40
				Wcm=	567.84
				Wcm FINAL=	568

Tabla 13 Cargas muertas azotea

La primera propuesta de trabes fueron de dimensiones 60 x 30 centímetros para todas las trabes del edificio. Se pensó en un pre dimensionamiento basado en el diseño arquitectónico para no afectarlo se tuvo que peraltar bastante y no aumentar la base.

Las columnas fueron diseñadas con medidas 30 x 30 en un principio con base a la distribución de espacios del proyecto arquitectónico

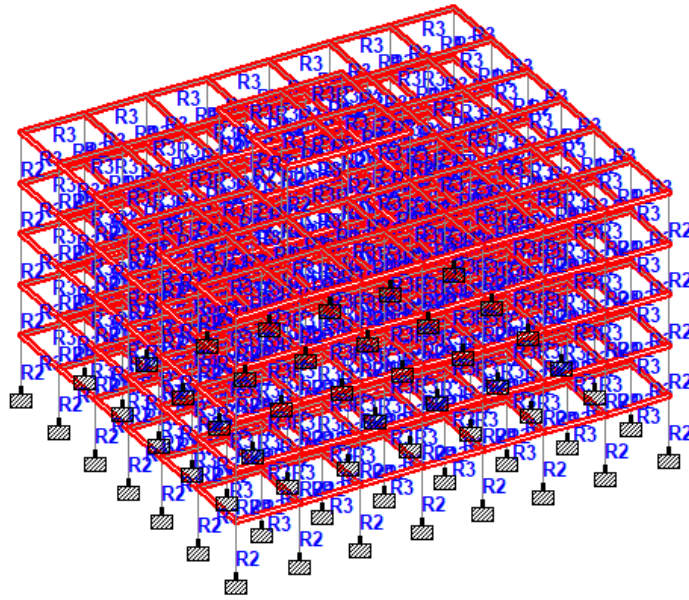


Figura 66: Estructura

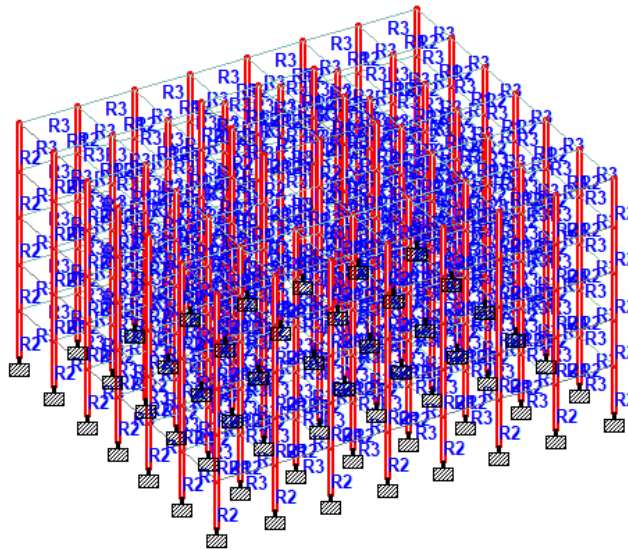


Figura 67: Columnas

Para indicar que existen losas y que el programa entienda que existe rigidez entre las vigas, se utilizó el comando `plate thickness` para indicar el espesor de la losa. En la siguiente imagen se podrá ver claramente cada plate generado en la estructura. Esta selección es en vista de planta.

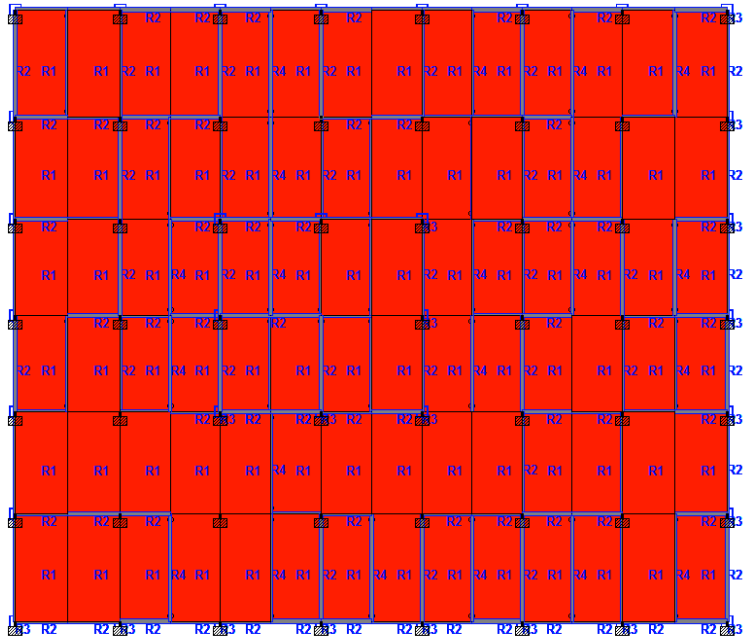


Figura 68: Losas

Teniendo el pre dimensionamiento de los elementos, es importante determinar el tipo de material con el que se va a trabajar y diseñar. Para los traveses y columna se indicó que son material de concreto. Para las losas se indicó que son elementos de concreto con densidad 0 (CONLOSA) solo para que el programa entienda que son sólidos, pero el valor real del peso de la losa se sacó mediante el análisis de cargas. En la siguiente imagen se puede ver que los elementos tipo columna y viga se les asigno el material de CONCRETE.

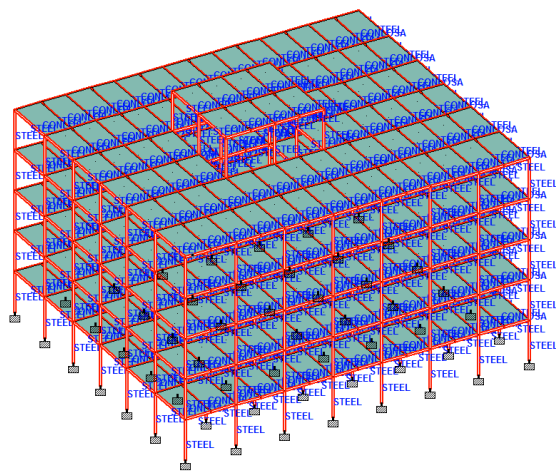


Figura 69: 3D losas

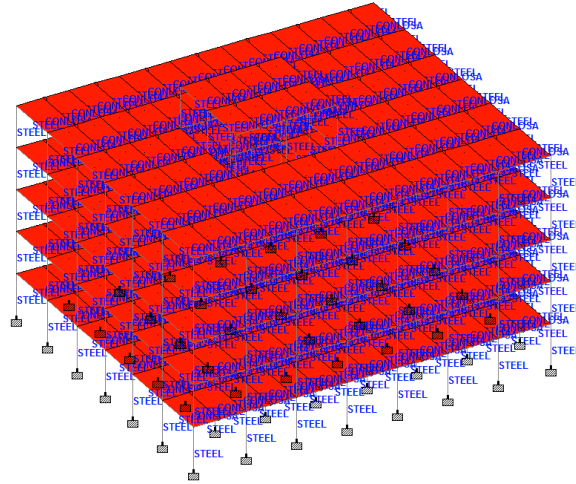


Figura 70: Losas

Al tener definidos el tipo de material, especificaciones y tipo de secciones para cada elemento se procedió a generar grupo. Se generaron grupos con el fin de delimitar los elementos tipo losa y viga de un entrepiso para poder aplicarle las combinaciones de cargas. Se le dio el nombre de _E1, _E2, _E3, _E4, _A1 y _A2 a los 5 diferentes niveles. En las siguientes imágenes se podrán ver los entrepisos seleccionados. La selección de entrepisos es importante debido que en este paso es donde se considera que existe un hueco de elevadores y de escaleras en cada nivel.

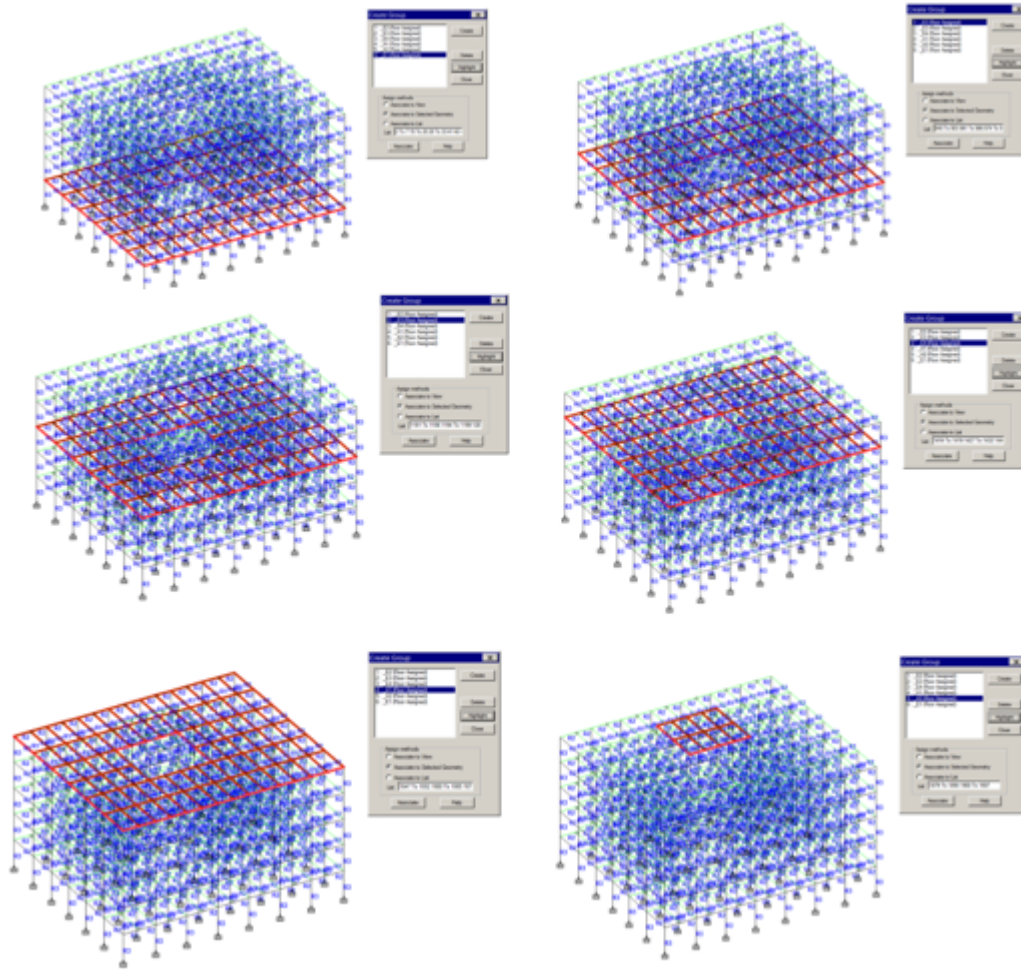


Figura 71: Adjudicación de nivel

Teniendo estas especificaciones, ya se podrá asignar las cargas a los entrepisos y azoteas. Las cargas muertas se sacaron mediante el análisis de cargas, mientras, que las cargas vivas se obtienen de la tabla de cargas vivas unitarias del reglamento de construcción del distrito federal. Las cargas vivas utilizadas para entrepiso son de 170 kg/cm^2 y las de azotea son de 100 kg/cm^2 . De la misma tabla se obtuvieron las cargas vivas accidentales que son 90 kg/cm^2 y 70 kg/cm^2 , respectivamente. Se deberá asignar una carga muerta negativa para que el programa entienda que son gravitacionales. De igual manera con las cargas vivas y cargas vivas accidentales. Es importante que en la definición de cargas muertas se indique que también considere el peso propio de los elementos.

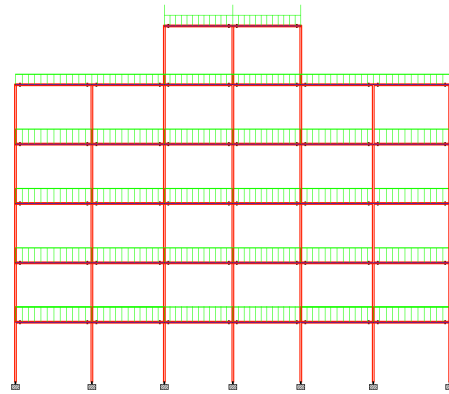


Figura 72: Cargas muertas y vivas

En la figura anterior se ve representado las cargas muertas en una dirección, pero la representación de las cargas vivas es la misma, lo único que cambia es el tipo de carga y el valor. Se determinó que es en una dirección, ya que de esa manera deben de trabajar las los aligerada que seleccionamos anteriormente.

Teniendo la asignación de cargas muertas, vivas y accidentales listas, el edificio ya puede realizar un análisis de los elementos, arrojando graficas de momentos, cortantes y desplazamientos de esos elementos. Ya que ya cuenta las características necesarias para analizar el edificio, pero no significa que el proceso haya terminado porque faltan definir parámetros de diseño, aplicarle el método dinámico y cargas laterales para determinar si la propuesta es correcta.

Hasta el momento, la estructura considera cargas gravitacionales, pero es necesario introducir y considerar cargas laterales (cargas sísmicas). Para estas consideraciones, fue necesario definir que el proyecto trabajara bajo los parámetros establecidos del Manual de construcción de la CFE 1993.

Para los parámetros sísmicos se consideró el tipo de estructura, zona sísmica y los coeficientes sísmicos de la zona. Se podrán ver los parámetros establecidos en el programa con la siguiente imagen.

Type : MEX: CFE - 1993 Include Accidental Load

Parameter	Value	Unit
Zone	3	
Seismic Behaviour Factor X	2	
Seismic Behaviour Factor Z	2	
Group of Structure	B	
Soil Profile Type (STYP)	2	
Regular Structure	Yes	
* Site characteristic period (TS)		
* Period in X Direction (PX)		seconds
* Period in Z Direction (PZ)		seconds

Figura 73: Parámetros

Resultados

Considerando estos parámetros se procedió a definir el peso de cada nivel y el peso propio de la estructura para considerar el comportamiento de las masas ante el espectro. Contemplando el comportamiento, se cargó un espectro de sismo de la zona, que hará el cálculo mediante el método dinámico y se obtendrá los modos de vibras, 1, 2 y 3. Por último, se generaron unas cargas laterales S_x y S_z con los parámetros establecidos anteriormente y poder simular el sismo.

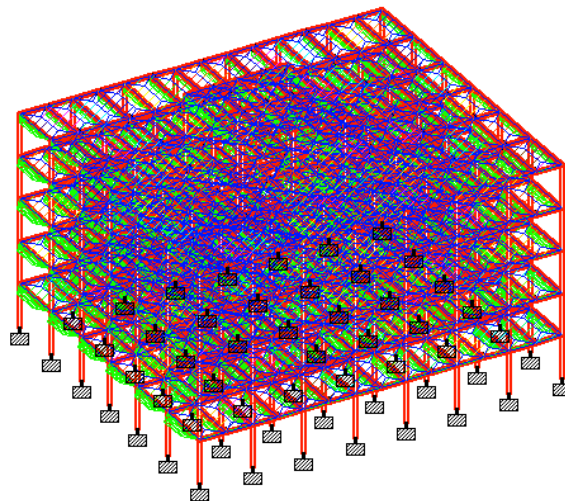


Figura 74: Sismo en x

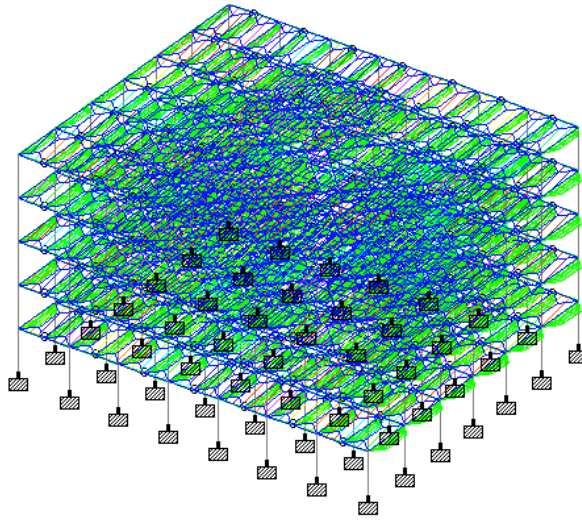


Figura 75: Sismo en z

Como último paso antes de obtener resultados, se deberán asignar los parámetros de diseño con los que se va a diseñar la estructura de concreto. En este caso, se optó por utilizar parámetros de diseño del código del ACI (American Concrete Institute), se designó comportamiento específico a las secciones, se determinó F_c , CLB entre otros.

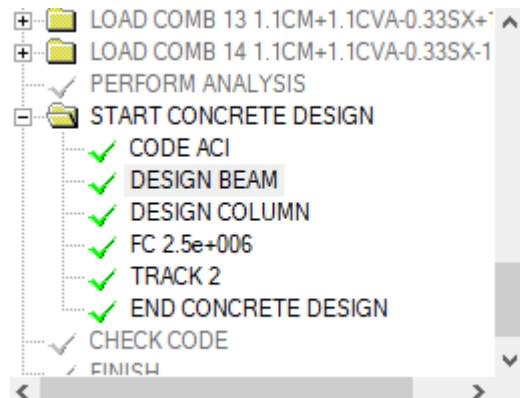


Figura 76: Parámetros

Terminando de definir el tipo el código de diseño y los parámetros que se utilizaran, se generó un render de la estructuración, donde se verá de manera más clara las secciones asignados, las losas y las áreas delimitadas por las geometrías.

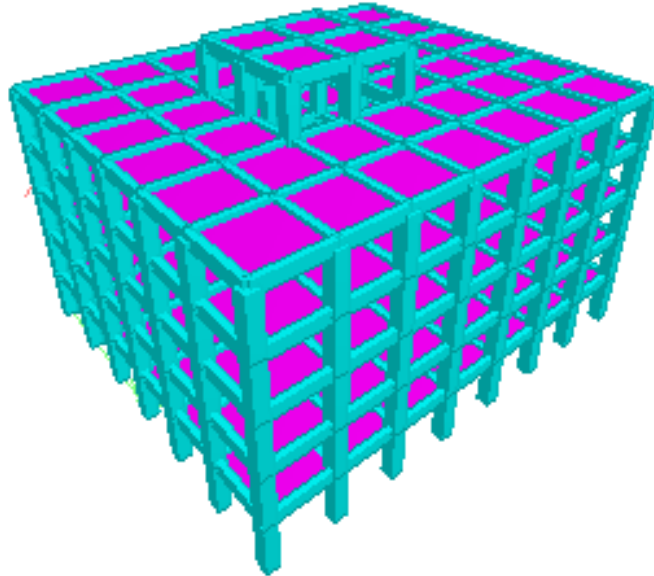


Figura 77: 3D estructura

Conclusión

Después de concluir con la revisión de los elementos que conforman la estructura podemos asegurar el funcionamiento correcto desde el punto de vista matemático ya que ninguno de los elementos tuvo problemas para cumplir con las especificaciones que los reglamentos demandan

Esta última propuesta tiene un segundo dimensionamiento al indicado en el trabajo, se tomó la decisión de aumentar la dimensión de las columnas 60 x 60 centímetros para lograr que cumplieran y concluir con una estructura estable.

Volúmenes y catálogo de conceptos

Como segundo paso, se tiene que calcular la volumetría de la estructura. Que en este caso el costo va en relacionado a la cantidad de metros cúbicos de concreto reforzado y el número de metro cuadrados de losa. Primero se realizó un cálculo para obtener volumetría

de la estructura y luego se realizó un análisis de precios unitarios para obtener el precio unitario metro cubico de concreto reforzado. De la misma manera se realizó un análisis de precios unitarios para la losa aligerada que se utilizó y para conocer el precio total en metros cuadrados. A continuación, se muestran los análisis previamente mencionados.

Elemento	Area seccion	Metros lineales	Metros cubico
Trabes	0.18	1572.09	282.9762
Columnas	0.36	736	264.96
			547.9362

Tabla 14 Relación de metros cuadrados

Con esta volumetría podemos obtener un presupuesto del costo de la estructura en base al análisis de precios unitarios que se realizó.

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

1 Suministro de de sección rectangular o cuadrada de concreto reforzado para columnas y trabes, realizada con concreto $f'c=20$ MPa (250 kg/cm²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 20 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, y acero $f_y=4200$ kg/cm², cuantía 120 kg/m²; construcción y desmontaje del sistema de cimbra de láminas metálicas reutilizables, hasta 3 m de altura libre y 30x30 cm de sección media M3

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Materiales					
135105-1695	Concreto premez. $f_c=250$ kg/cm ² RN,tma= 20mm rev 14 bombeable	m3	1.05000	\$ 1,214.35	\$ 1,275.07
910140-1075	Acero $f_y=4200$ kg/cm ²	kg	120.00000	\$ 11.18	\$ 1,341.60
135150-5045	Separador homologado para columnas	ud	12.00000	\$ 0.74	\$ 8.88
Suma de Materiales					\$ 2,625.55
Mano de Obra					
JOGP014	Oficial	Jor	0.43700	\$ 39.87	\$ 17.42
JOGP015	Ayudante	Jor	0.43700	\$ 20.97	\$ 9.16
Suma de Mano de Obra					\$ 26.59
Equipo					
910140-1075	Cimbra con triplay de pino 16 mm incluye descimbrado y cimbrado	m2	4.00000	\$ 352.12	\$ 1,408.48
Suma de Equipo					\$ 1,408.48
Costo Directo					\$ 4,060.61
Indirectos					0.03 \$ 121.82
Subtotal					\$ 4,182.43
Financiamiento					0.03 \$ 125.47
Subtotal					\$ 4,307.91
Utilidad					0.05 \$ 215.40
Subtotal					\$ 4,523.30
Cargos Adicionales					0.00 \$ 0.00
Subtotal					\$ 4,523.30

PRECIO UNITARIO

CINCO MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y SEIS PESOS 10/100 M.N.

Tabla 15 Análisis de precios unitarios

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

2

Suministro y colocación de losa de entrepiso aligerada con casetones de poliestireno, realizada con concreto f'c=20 MPa (250 kg/cm²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 20 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, y acero fy=4200 kg/cm², cuantía 120 kg/m³; construcción y desmontaje del sistema de cimbra de madera de pino

M3

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Materiales					
135105-1695	Alambre recocido cal 18	kg	1.06000	\$ 17.00	\$ 18.02
135105-1696	Alambren liso de 1/4"	kg	1.72200	\$ 13.05	\$ 22.47
910140-1075	Arena	m3	0.05580	\$ 201.00	\$ 11.22
910140-1076	Cemento gris saco	ton	0.03870	\$ 2,200.00	\$ 85.14
135150-5075	Clavo de 2 1/2" a 3 1/2"	kg	0.30000	\$ 16.00	\$ 4.80
135150-5076	Diesel	lt	0.50000	\$ 18.00	\$ 9.00
135150-5555	Grava 3/4"	m3	0.06770	\$ 201.00	\$ 13.61
135125-5555	Madera de pino 3ra	pt	4.00000	\$ 14.90	\$ 59.60
137850-5063	Triplay de pino de 16 mm 1 cara	h	0.06720	\$ 418.24	\$ 28.11
135150-5777	Varilla fy=4200 kg/cm No.3 (3/8")	kg	4.99000	\$ 11.18	\$ 55.79
135150-5778	Varilla fy=4200 kg/cm No.4 (1/2")	kg	6.19820	\$ 11.18	\$ 69.30
135150-5779	Varilla fy=4200 kg/cm No.5 (5/8")	kg	5.58710	\$ 11.18	\$ 62.46
135150-5780	Varilla fy=4200 kg/cm No.6 (3/4")	kg	20.30100	\$ 11.18	\$ 226.97
135150-0010	Poliestireno de 1" de espesor	m2	0.25100	\$ 44.35	\$ 11.13
Suma de Materiales					\$ 735.75
Mano de Obra					
JOGP014	Ayudante	Jor	0.93540	\$ 249.35	\$ 233.24
JOGP015	Carpintero de obra negra	Jor	0.39000	\$ 380.69	\$ 148.47
JOGP017	Oficial albañil	Jor	0.00610	\$ 398.84	\$ 2.43
JOGP018	Oficial herrero	Jor	0.11000	\$ 371.92	\$ 40.91
JOGP019	Cabo de oficios	Jor	0.01740	\$ 512.28	\$ 8.91
JOGP020	Cabo de ayudantes	Jor	0.02000	\$ 398.24	\$ 7.96
Suma de Mano de Obra					\$ 675.18
Equipo					
910140-1075	Revolvedora para concreto Mypsa-Kohler	h	0.05440	\$ 95.13	\$ 5.18
910140-1076	Vibrador de concreto dynapac incluye operación	h	0.04000	\$ 73.88	\$ 2.96
Suma de Equipo					\$ 5.18
Costo Directo					\$ 1,416.10
Indirectos				0.03	\$ 42.48
Subtotal					\$ 1,458.58
Financiamiento				0.03	\$ 43.76
Subtotal					\$ 1,502.34
Utilidad				0.05	\$ 75.12
Subtotal					\$ 1,577.45
Cargos Adicionales				0.00	\$ 0.00
Subtotal					\$ 1,577.45

**PRECIO UNITARIO
MIL QUINIENTOS SETENTA Y SIETE PESOS 45/100 M.N.**

Tabla 16 Análisis de precios unitarios

GENERADOR ESTRUCTURA DE CONCRETO Y LOSAS DE ENTREPISO

CODIGO	CONCEPTO	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	Suministro de de sección rectangular o cuadrada de concreto reforzado para columnas y trabes, realizada con concreto $f_c=20$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 20 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, y acero $f_y=4200$ kg/cm ² , cuantía 120 kg/m ³ ; construcción y desmontaje del sistema de cimbra de láminas metálicas reutilizables, hasta 3 m de altura libre y 30x30 cm de sección media	m3	547.93	\$ 4,523.30	\$2,478,451.77
2	Suministro y colocación de losa de entepiso aligerada con casetones de poliestireno, realizada con concreto $f_c=20$ MPa (250 kg/cm ²), clasificación de exposición A1, tamaño máximo del agregado 20 mm, revenimiento de 5 a 10 cm, premezclado, y colado con grúa, y acero $f_y=4200$ kg/cm ² , cuantía 120 kg/m ³ ; construcción y desmontaje del sistema de cimbra de madera de pino	m3	1,953.53	\$ 1,577.45	\$3,081,595.90

SUBTOTAL \$5,560,047.67

(CINCO MILLONES QUINIENTOS SESENTA MIL CUARENTA Y SIETE 67/100 PESOS)

Tabla 17 generadores

Anexo D: Análisis de un edificio de madera

Con base a la propuesta arquitectónica, se realizó un modelado en el programa STAAD.Pro V8i para determinar el análisis y diseño estructural del proyecto, que en este caso será el edificio de madera (Solo vigas y columnas).

El primer paso para desarrollar el modelado estructural es plantear la geometría en el espacio con nodos (puntos) y con trazos lineales entre nodos (beams). Los claros entre nodos y las alturas de entrepisos están especificados en el proyecto arquitectónico.

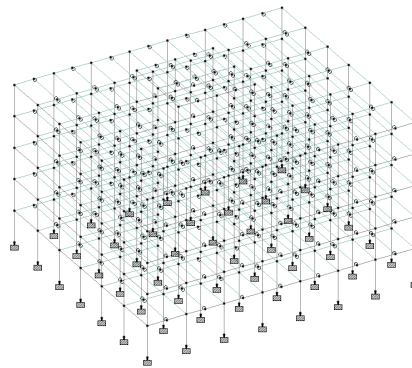


Figura 78: Geometría

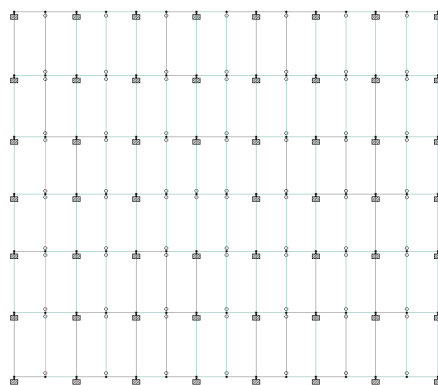


Figura 79: Planta geometría

Al tener la geometría terminado se procedió a determinar el tipo de losas que se iba a utilizar en este proyecto. Se propuso utilizar madera contra laminada (CLT) de 3 capas de

paneles de madera, donde las dos 2 capas exteriores son de 32 mm de espesor y la del centro de 20 mm. En este caso, se recurrió al Canadian CLT Hand book para obtener el análisis de cargas muertas de este tipo de material. En este caso se utilizaron $410\text{kg}/\text{cm}^2$ para las cargas muertas de entepiso y azotea.

La propuesta de las secciones que se utilizaran para las vigas, losas, columnas y muros dependió de la propuesta arquitectónica debido que se tuvieron que buscar las secciones óptimas para la modulación de los espacios.

La primera propuesta de columnas fue una sección cuadrada de 30 x 30 centímetros compuestas por 10 capas de paneles de 32 milímetros. Es importante aclarar que las vigas y columnas de este sistema trabajan en una sola dirección, por eso el método de ensamble de este sistema de madera es GLT (Glue laminated timber).



Figura 80: Columnas seleccionadas

En cuanto a la sección de las vigas fue rectangular de 30 x 15 centímetros compuestas por 10 capas de paneles de 32 milímetros. Se podrá ver en la siguiente figura los elementos seleccionados.

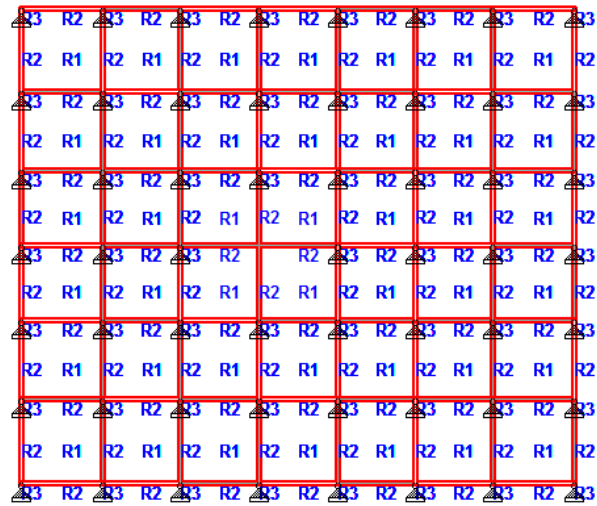


Figura 81: Selección de vigas

Contemplando las normas técnicas del sistema, se recomienda que para las losas el sistema de ensamblado de los paneles sea en CLT (Cross laminated timber) y que el trabajo del elemento sea en dos direcciones. En este caso, fue importante realizar un ajuste en las indicaciones al programa para diferenciar entre los paneles que trabajan en un sentido y en el otro. Primero, al crear el material, se indicó una densidad de 380 kg/cm^2 tomando en consideración que son 3 paneles, dos exteriores de 32 milímetros y uno central de 20 milímetros. Para el cálculo es importante indicarle al programa que considere solo de los dos paneles exteriores que sería el 17% menos que el que se indicó primero. Esto con el propósito de generar el comportamiento del CLT.

Para indicar que existen losas y que el programa entienda que existe rigidez entre las vigas, se utilizó el comando plate thickness para indicar el espesor de la losa. En la siguiente imagen se podrá ver claramente cada plate generado en la estructura. Esta selección es en vista de planta.

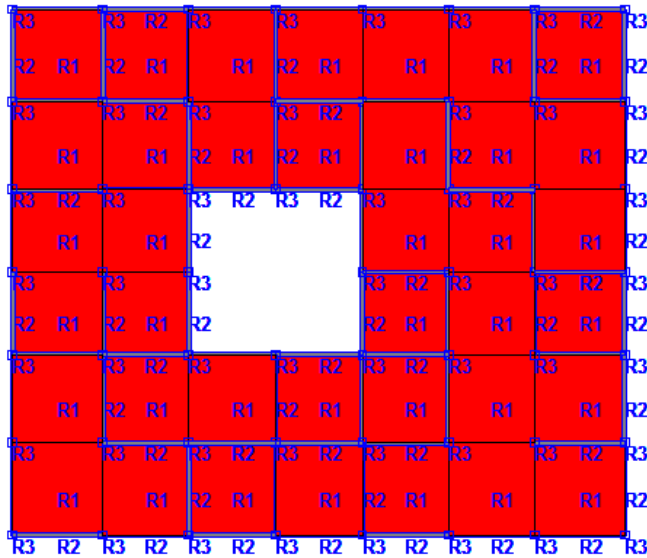


Figura 82: Selección de losas

Teniendo la preselección de los tipos de sección, es importante determinar el tipo de material con el que se va a trabajar y diseñar. Para los elementos tipo viga, columna vigas se indicó que son material de madera con características del GL24 y se creó un nuevo material llamado “Madera”. En la siguiente imagen se puede ver que los elementos tipo columna, viga y losa se les asigno el material de Madera.

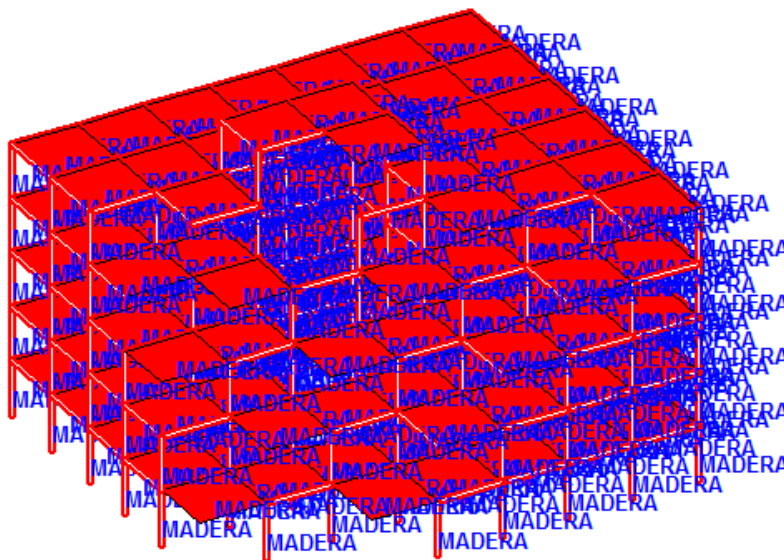


Figura 83: Asignación de material

Al tener definidos el tipo de material, especificaciones y tipo de secciones para cada elemento se procedió a generar grupo. Se generaron grupos con el fin de delimitar los elementos tipo losa y viga de un entrepiso para poder aplicarle las combinaciones de cargas. Se le dio el nombre de _E1, _E2, _E3, _E4, _A1 y _A2 a los 5 diferentes niveles. En las siguientes imágenes se podrán ver los entrepisos seleccionados. La selección de entrepisos es importante debido que en este paso es donde se considera que existe un hueco de elevadores y de escaleras en cada nivel.

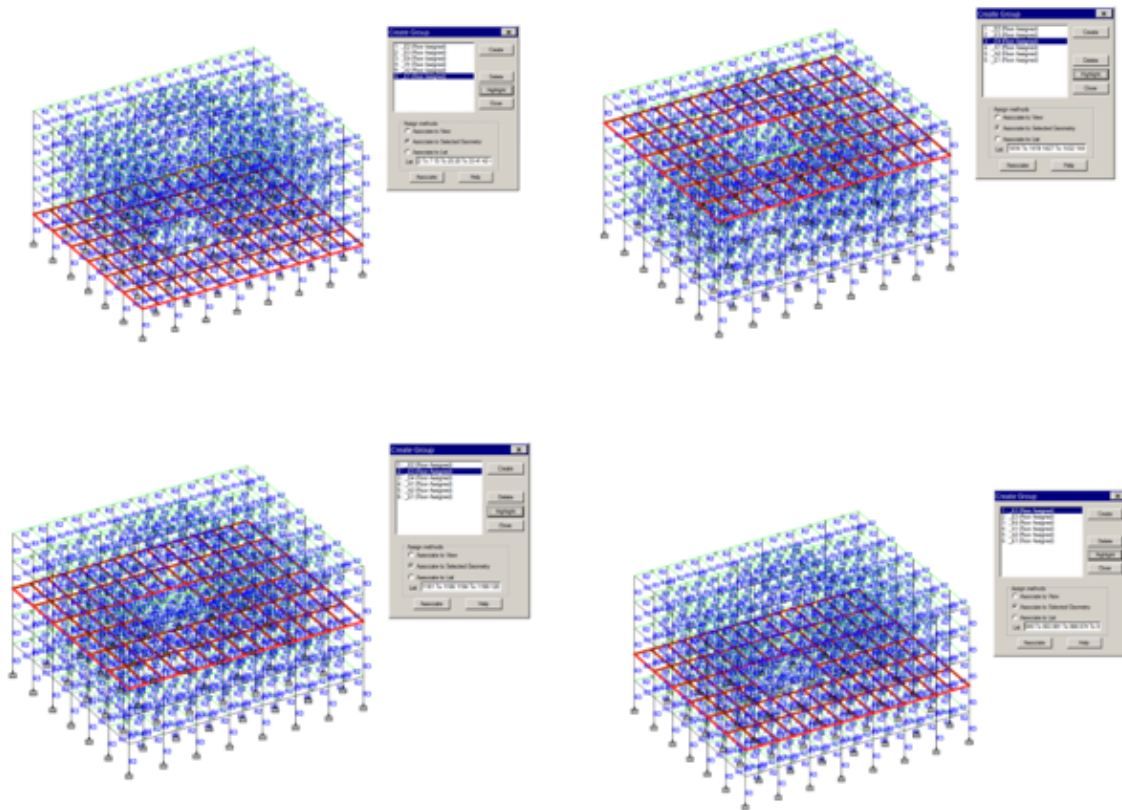


Figura 84: Entrepiso

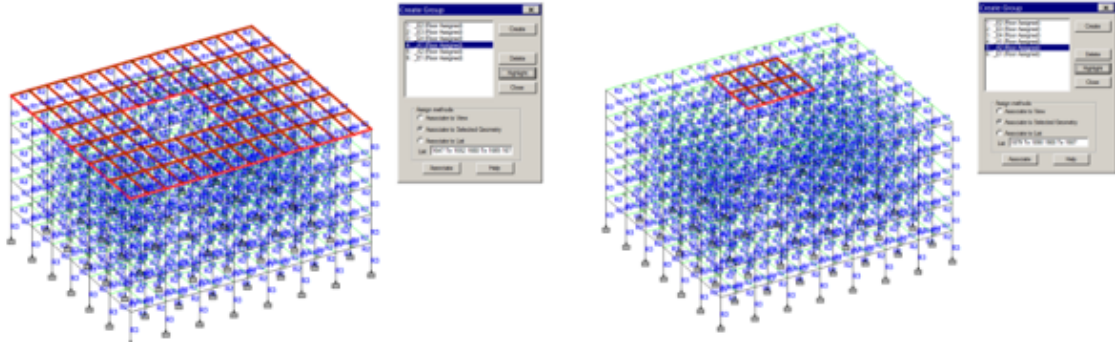


Figura 85: Azotea

Teniendo estas especificaciones, ya se podrá asignar las cargas a los entrepisos y azoteas. Las cargas muertas se sacaron mediante el análisis de cargas, mientras, que las cargas vivas se obtienen de la tabla de cargas vivas unitarias del reglamento de construcción del distrito federal. Las cargas vivas utilizadas para entrepiso son de 170 kg/cm² y las de azotea son de 100 kg/cm². De la misma tabla se obtuvieron las cargas vivas accidentales que son 90 kg/cm² y 70 kg/cm², respectivamente. Se deberá asignar una carga muerta negativa para que el programa entienda que son gravitacionales. De igual manera con las cargas vivas y cargas vivas accidentales. Es importante que en la definición de cargas muertas se indique que también considere el peso propio de los elementos.

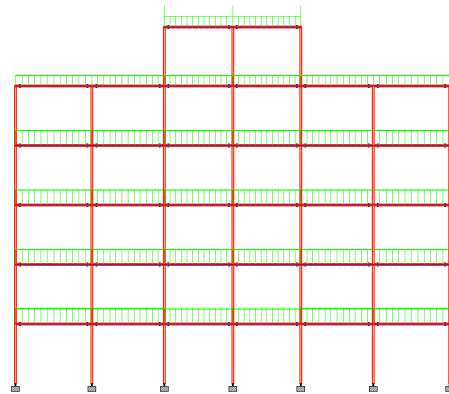


Figura 86: Cargas muertas y vivas

En la figura anterior se ve representado las cargas muertas en una dirección, pero la representación de las cargas vivas es la misma, lo único que cambia es el tipo de carga y el valor. Se determinó que es en dos direcciones por ser CLT.

Teniendo la asignación de cargas muertas, vivas y accidentales listas, el edificio ya puede realizar un análisis de los elementos, arrojando graficas de momentos, cortantes y desplazamientos de esos elementos. Ya cuenta las características necesarias para analizar el edificio, pero no significa que el proceso haya terminado porque faltan definir parámetros de diseño, aplicarle el método dinámico y cargas laterales para determinar si la propuesta es correcta.

Hasta el momento, la estructura considera cargas gravitacionales, pero es necesario introducir y considerar cargas laterales (cargas sísmicas). Para estas consideraciones, fue necesario definir que el proyecto trabajara bajo los parámetros establecidos del Manual de construcción de la CFE 1993.

Para los parámetros sísmicos se consideró el tipo de estructura, zona sísmica y los coeficientes sísmicos de la zona. Se podrán ver los parámetros establecidos en el programa con la siguiente imagen.

Type : MEX: CFE - 1993 Include Accidental Load

Parameter	Value	Unit
Zone	3	
Seismic Behaviour Factor X	2	
Seismic Behaviour Factor Z	2	
Group of Structure	B	
Soil Profile Type (STYP)	2	
Regular Structure	Yes	
* Site characteristic period (TS)		
* Period in X Direction (PX)		seconds
* Period in Z Direction (PZ)		seconds

Figura 87: Parámetros sísmicos

Considerando estos parámetros se procedió a definir el peso de cada nivel y el peso propio de la estructura para considera el comportamiento de las masas ante el espectro. Contemplando el comportamiento, se cargó un espectro de sismo de la zona, que hará el cálculo mediante el método dinámico y se obtendrá los modos de vibras, 1, 2 y 3. Por último,

se generaron unas cargas laterales S_x y S_z con los parámetros establecidos anteriormente y poder simular el sismo.

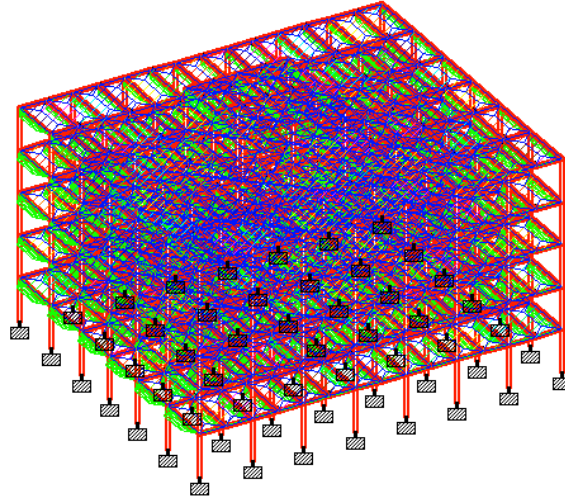


Figura 88: Sismo en x

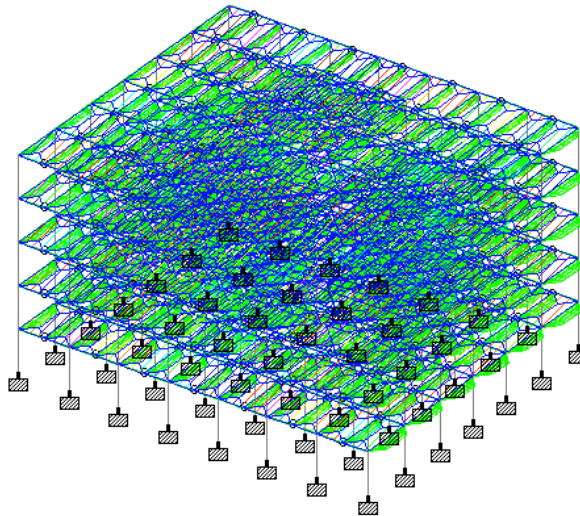


Figura 89: Sismo en z

Como último paso antes de obtener resultados, se deberán asignar los parámetros de diseño con los que se va a diseñar la estructura de acero. En este caso, se optó por utilizar parámetros de diseño del código del AITC (American Institute of timber construction), se designó comportamiento específico a las vigas, el proyecto trabajara acorde al Método LFRD, entre otros parámetros necesarios para poder determinar el diseño de la estructura.

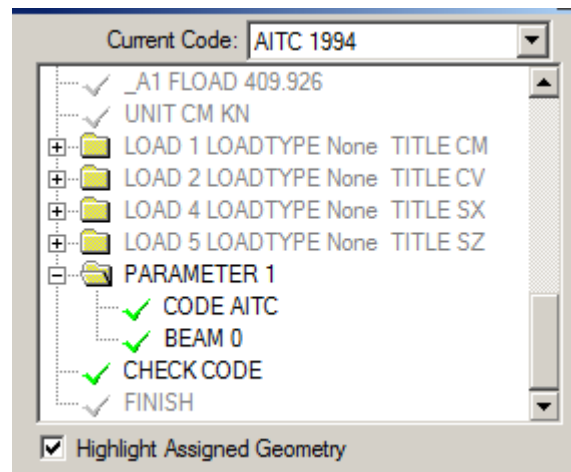


Figura 90: Parámetros diseño

Terminando de definir el tipo el código de diseño y los parámetros que se utilizaran, se generó un render de la estructuración, donde se verá de manera más clara los perfiles asignados, las losas y las áreas delimitadas por las geometrías.

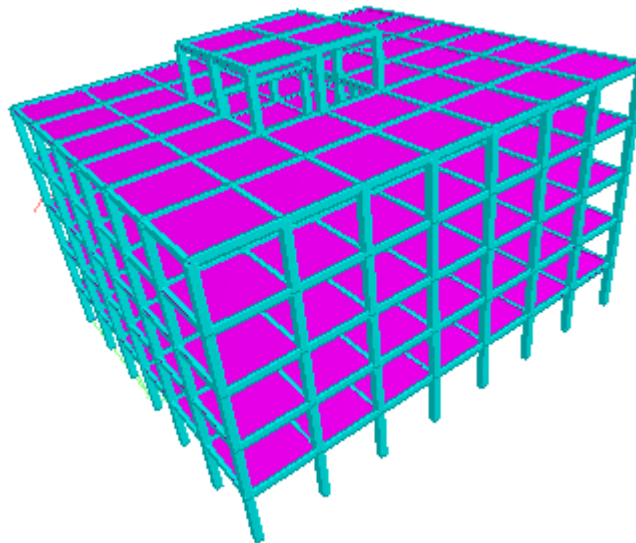


Figura 91: 3D de estructura

Resultados de cálculos

Al correr el programa con todas las especificaciones, deberá de arrojar resultados sobre el análisis y diseño de los elementos, donde se proporcionaron datos de las inercias, momentos, cortantes, especificaciones de diseño, periodos, frecuencias, módulos elásticos, entre otros muchos resultados.

Al ser un cálculo de una edificación de 5 niveles, se cuentan con 1907 elementos calculados por el programa, esto no quiere decir que esos serán los elementos en la vida real. Por lo que se revisaron los resultados. En el apartado de postprocessing, en la sección de beams, todos los elementos pasaron con la primera propuesta en madera. Esto quiere decir que se puede generar una optimización que busque disminuir los costos y que los elementos trabajen sin estar sobrados.

En cuanto a los desplazamientos, se revisaron si los desplazamientos máximos relativos cumplían y estaban dentro de norma. Gracias a las especificaciones dadas, todos los nodos de la estructura pasaron por desplazamientos relativos.

Para demostrar que lo realizado esta correcto, se pondrá la información que de uno de los elementos con mayor claro y se podrá apreciar que si pasaron los elementos.

Por último, en cuanto a las cargas laterales y el espectro sísmico. El edificio cumple y los periodos en cada modo de vibrar son congruentes uno con el otro. Por lo que se concluye que las estructuras de acero con las características propuestas inicialmente son factibles.

En las siguientes imágenes se verán reflejados los modos de vibrar 1, 2 y 3, acorde a las frecuencias, periodos y su comportamiento. Los modos de vibrar de la estructura se verán en orden 1, 2 y 3

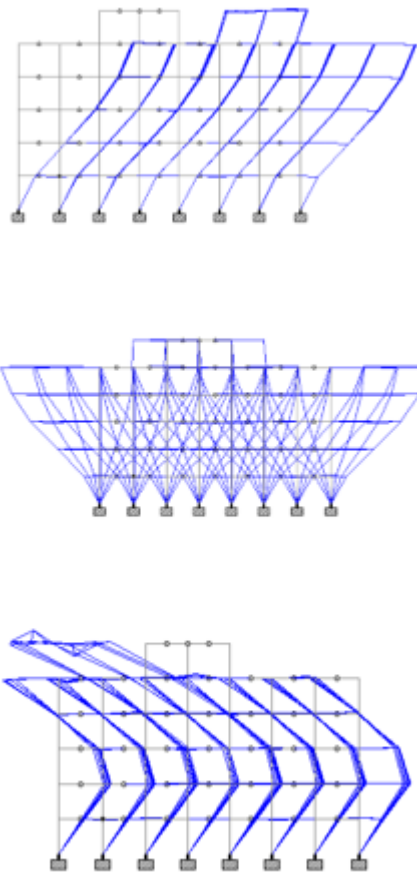


Figura 92: modo de vibrar

Mode	Frequency Hz	Period seconds	Participation X %	Participation Y %	Participation Z %	Type
1	2.236	0.447	79.815	0.000	0.000	Elastic
2	3.707	0.270	0.001	0.000	0.000	Elastic
3	7.168	0.140	10.629	0.000	0.000	Elastic
4	9.966	0.100	0.037	0.000	0.000	Elastic
5	10.991	0.091	2.608	0.000	0.000	Elastic
6	14.587	0.069	0.018	0.000	0.000	Elastic

Figura 93: Periodos y frecuencias

Conclusiones

El sistema de madera laminada y contra laminada tiene una gran ventaja, se pueden generar secciones pequeñas pero que tienen una gran ventaja en su comportamiento mecánico. Esto quiere decir que por su fisionomía tiene la posibilidad de aguantar grandes cargas, pero genera mucho desplazamiento debido a la naturaleza del material.

Este sistema responde bien a las cargas gravitacionales y laterales que puede ser un sistema viable para poder introducirlo a la ZMG.

Volúmenes y catálogo de conceptos

Como segundo paso, se tiene que calcular la volumetría de la estructura. Que en este caso el costo va en relación con metros cuadrados de madera. Primero se realizó un cálculo de los metros cúbicos totales y se multiplico por la densidad para conocer los kilogramos totales de los elementos utilizados en la estructura. Por último, se desarrolló un generador con el precio final de la estructura de madera. En la siguiente tabla podremos ver los pesos totales de cada perfil y los metros cuadrados de losa de toda la edificación.

GENERADOR ESTRUCTURA DE CONCRETO Y LOSAS DE ENTREPISO

CODIGO	CONCEPTO	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	Suministro y colocación de estructura de madera CLT para losa de entrapiso de 8.4 cm de espesor, con dos caoas de 32 mm y una de 20 mm pegadas con adhesivo Lockweld II incluye mano de obra calificada, herramienta, equipo, acarreo y todo lo necesario para su correcta ejecución	m3	88,655.21	\$ 20.70	\$1,835,162.90
2	Suministro y colocación de estructura de madera GLT para columnas y vigas de 10 capas de 32 mm, pegadas con adhesivo Lockweld II incluye mano de obra calificada, herramienta, equipo, acarreo y todo lo necesario para su correcta ejecución	kg	73,971.39	\$ 20.70	\$1,531,207.71
				SUBTOTAL	\$3,366,370.62

(TRES MILLONES TRESCIENTOS SESENTA Y SEIS MIL TRESCIENTOS SETENTA 62/100 PESOS)

Tabla 18 Generador de estructura de madera

Anexo D: Planos del edificio

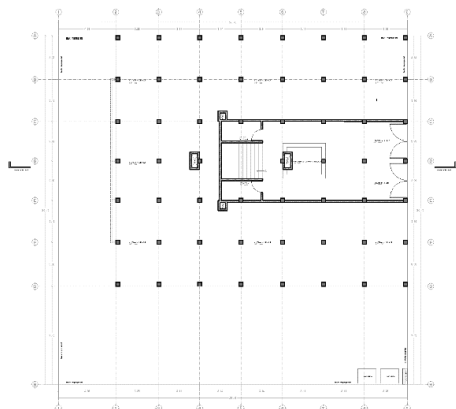


Figura 94: Planta baja



Figura 95: Planta tipo nivel 1, 2, 3 y 4

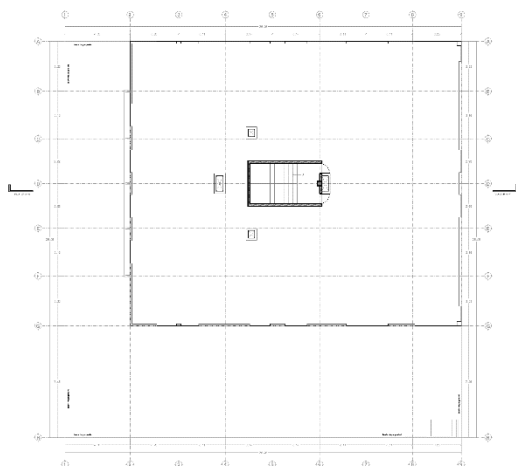


Figura 96: Azotea

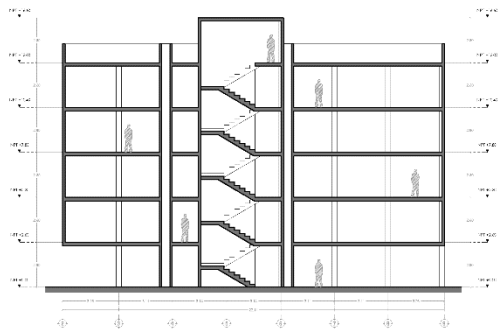


Figura 97: Sección A-A

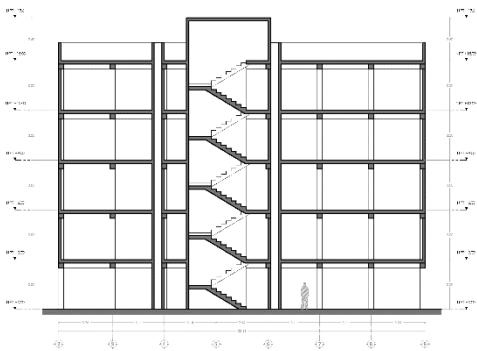


Figura 98: Alzado sur

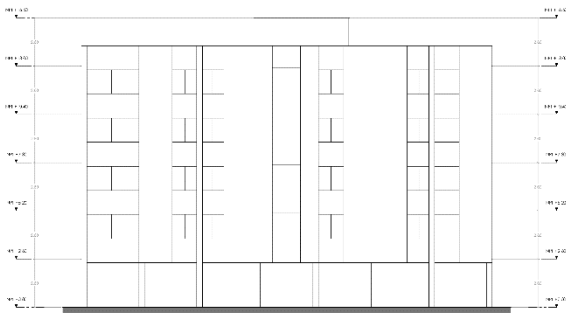


Figura 99: Alzado norte

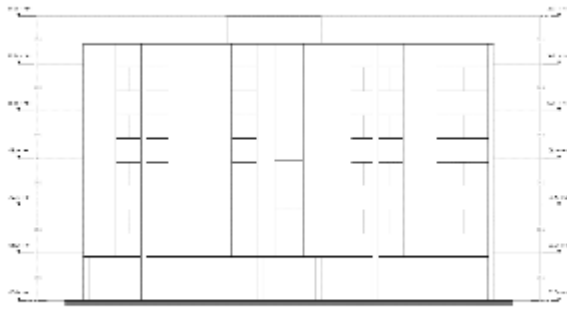


Figura 100: Alzado sur

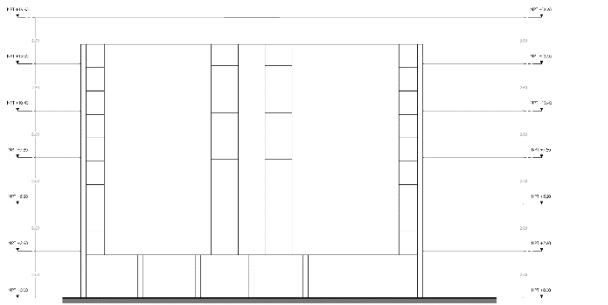


Figura 101: Alzado este

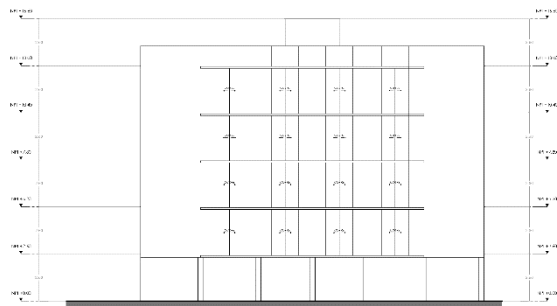


Figura 102: Alzado poniente