

Universidad Católica Andrés Bello  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE DE UNA  
EDIFICACIÓN MODULAR COMPUESTA PREFABRICADA DE MEDIANA  
ALTURA.**

Tutor: Nicolás Labropoulos

Alumnos: Capiello, Eduardo

Suarez, Alejandro

Caracas, Junio de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE MEJORAS PARA LA GESTIÓN DEL  
ALMACÉN DE UNA EMPRESA DEDICADA AL COMERCIO DE SOLUCIONES  
DE MOBILIARIO, UBICADA EN CARACAS

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido

con el resultado: Veinte (20).....

JURADO EXAMINADOR

Firma: 

Nombre: Luis GUTIERREZ

Firma: 

Nombre: Oswald Carvajal

Firma: 

Nombre: MARTIN DURANTE LÓPEZ

REALIZADO POR: BR.: Castillo Naranjo, Anna Karina.

PROFESOR GUÍA: MSc. Ing. Oswald Carvajal.

FECHA: Octubre, 2017.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer primeramente a Dios, por ser el guía de nuestros pasos, por él; que nos concede el entendimiento, la voluntad y en definitiva las fuerzas para salir adelante en todos los actos de nuestras vidas.

Agradecemos a nuestros familiares, por su apoyo incondicional a lo largo de esta etapa de formación como Ingenieros. Sin sus consejos, esfuerzos y sacrificios, no hubiese sido posible alcanzar esta meta de ser profesionales.

Agradecemos a la Universidad Católica Andrés Bello, por ser una casa de estudio ejemplar, tanto en la formación profesional como en el desarrollo de líderes para un futuro.

Agradecemos a los Ingenieros, Ing. Eduardo López e Ing. José Manuel Velásquez, por brindarnos su apoyo y conocimiento a lo largo del desarrollo de este Trabajo Especial Grado. Su aporte fue fundamental en el desarrollo de este proyecto, sin su ayuda no hubiese sido posible culminarlo.

Agradecemos a nuestro tutor Ing. Nicolás Labropoulos por guiarnos y transmitir sus conocimientos a lo largo del desarrollo de este Trabajo Especial de Grado. Y por enseñarnos que esta profesión es de suma importancia saber escuchar las ideas de los demás ante un proyecto y tomar el mayor provecho de ello, que en la vida siempre abra algo que aprender y que nunca es tarde para ello.

Agradecemos al Arq. Gabriel Heredia y al Diseñador Rafael Gutiérrez por ayudarnos en el desarrollo arquitectónico del proyecto.

Por ultimo pero no menos importante, agradecemos a nuestros padres es a ustedes a quienes le debemos todos estos logros, pues sin su apoyo no hubiese

sido posible alcanzar nuestras metas de vida. A ustedes debemos todo, pues son la base de nuestras vidas el elemento principal para el desarrollo de este proyecto llamado vida.

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN.....  | X  |
| Arquitectura y construcción modular.....                                       | X  |
| CAPITULO I .....   | 1  |
| EL PROBLEMA .....  | 1  |
| 1.1 Planteamiento del problema .....   | 1  |
| 1.2 Objetivos de estudio.....  | 3  |
| 1.3 Alcances y limitaciones .....  | 4  |
| CAPITULO II.....   | 5  |
| MARCO TEORICO .....  | 5  |
| 2.1 Antecedentes .....   | 5  |
| 2.2 Bases Teóricas .....   | 7  |
| 2.2.1 Sistema modular.....   | 7  |
| 2.2.2 Módulo.....  | 10 |
| 2.2.3 Estructura Sismorresistente.....   | 11 |
| 2.2.4 Procesos de industrialización.....                                       | 12 |
| 2.2.5 Procesos de estandarización .....  | 13 |
| 2.2.6 Conexiones .....   | 13 |
| 2.3 Definición de Términos Básicos .....                                       | 15 |
| 2.4 Variables de Estudio .....   | 18 |
| CAPITULO III.....  | 19 |
| MARCO METODOLÓGICO.....  | 19 |
| 2.1 Tipo de Investigación .....  | 19 |
| 2.2 Población y Muestra .....  | 20 |
| 2.3 Método para el análisis de los resultados.....                             | 20 |
| CAPITULO IV .....  | 22 |
| PROYECTO DE EDIFICACION MODULAR PREFABRICADA.....                              | 22 |
| 4.1 Descripción de la edificación a estudiar.....                              | 22 |
| 4.1.1 Descripción de los módulos.....  | 25 |
| 4.3 Caso de Estudio de Edificación Modular Prefabricada.....                   | 28 |
| CAPITULO V .....   | 84 |
| DISEÑO DE CONEXIONES MODULO-NÚCLEO DE EDIFICACION<br>MODULAR PREFABRICADA..... | 84 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 Procedimiento de Cálculo de la Soldadura .....                                | 94  |
| 5.2 Procedimiento de Cálculo Barras Roscadas .....                                | 95  |
| 5.3 Conexión Modulo-Núcleo Piso 1 .....   | 100 |
| 5.4 Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior<br>..... | 105 |
| 5.4 Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior<br>..... | 111 |
| 5.5 Conexión Modulo-Núcleo Techo .....  | 113 |
| CAPITULO VI .....   | 120 |
| CONCLUSIONES .....  | 120 |
| RECOMENDACIONES .....   | 121 |
| ANEXOS .....  | 122 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....  | 128 |
| Libros, tesis y Organizaciones. ....  | 128 |
| Páginas WEB .....   | 128 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Alternativa 1.....                         | 23 |
| Figura 2: Alternativa 2.....                         | 24 |
| Figura 3: Alternativa 3.....                         | 25 |
| Figura 4: Plano de Planta Módulo.....                | 26 |
| Figura 5: Corte Lateral Módulo.....                  | 26 |
| Figura 6: Corte Frontal Módulo.....                  | 27 |
| Figura 7: Dimensiones del vehículo.....              | 27 |
| Figura 8: Composición Paredes y pisos Módulo.....    | 28 |
| Figura 9: Plano de Planta Recta.....                 | 29 |
| Figura 10: Plano de Planta Oblicua.....              | 30 |
| Figura 11: Tabla de Características del Drywall..... | 31 |
| Figura 12: Tabla 5.1 COVENIN 1756-2001.....          | 32 |
| Figura 13: Núcleo de Concreto Reforzado.....         | 34 |
| Figura 14: Espectro de Diseño Zona 4 S1.....         | 36 |
| Figura 15: Espectro de Diseño Zona 4 S3.....         | 37 |
| Figura 16: Espectro de Diseño Zona 7 S1.....         | 38 |
| Figura 17: Espectro de Diseño Zona 7 S2.....         | 38 |
| Figura 18: Fuerzas de corte Zona 4, Forma S1.....    | 45 |
| Figura 19: Fuerzas de corte Zona 4, Forma S3.....    | 46 |
| Figura 20: Fuerzas de corte Zona 7, Forma S1.....    | 47 |
| Figura 21: Fuerzas de corte Zona 7, Forma S2.....    | 48 |
| Figura 22: Derivas Zona 7, Forma S1.....             | 50 |
| Figura 23: Muro Núcleo de Concreto Reforzado.....    | 52 |
| Figura 24: Muro Núcleo de Concreto Reforzado.....    | 53 |
| Figura 25: Muro Núcleo de Concreto Reforzado.....    | 53 |
| Figura 26: Tabla C-3.1 COVENIN 1618-1998.....        | 57 |
| Figura 27: Releases.....                             | 58 |
| Figura 28: Pórtico Recto 1 (Perimetral).....         | 59 |
| Figura 29: Pórtico Recto 3.....                      | 59 |
| Figura 30: Pórtico Recto 5.....                      | 60 |
| Figura 31: Pórtico Recto 7 (Perimetral).....         | 60 |
| Figura 32: Pórtico Recto G (Perimetral).....         | 61 |
| Figura 33: Pórtico Recto E.....                      | 61 |
| Figura 34: Pórtico Recto C.....                      | 62 |
| Figura 35: Pórtico Recto A (Perimetral).....         | 62 |
| Figura 36: Pórtico Oblicuo 1 (Perimetral).....       | 63 |
| Figura 37: Pórtico Oblicuo 2 (Perimetral).....       | 63 |
| Figura 38: Pórtico Oblicuo 5.....                    | 64 |
| Figura 39: Pórtico Oblicuo 6 (Perimetral).....       | 64 |
| Figura 40: Pórtico Oblicuo 9 (Perimetral).....       | 65 |
| Figura 41: Pórtico Oblicuo 10.....                   | 65 |
| Figura 42: Pórtico Oblicuo 13 (Perimetral).....      | 66 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 43: Pórtico Oblicuo 14 (Perimetral).....                         | 66  |
| Figura 44: Pórtico Oblicuo N (Perimetral).....                          | 67  |
| Figura 45: Pórtico Oblicuo M (Perimetral).....                          | 67  |
| Figura 46: Pórtico Oblicuo J.....                                       | 68  |
| Figura 47: Pórtico Oblicuo I (Perimetral).....                          | 68  |
| Figura 48: Pórtico Oblicuo F (Perimetral).....                          | 69  |
| Figura 49: Pórtico Oblicuo E.....                                       | 69  |
| Figura 50: Pórtico Oblicuo B (Perimetral).....                          | 70  |
| Figura 51: Pórtico Oblicuo A (Perimetral).....                          | 70  |
| Figura 52: Punto de Inserción Superior.....                             | 71  |
| Figura 53: Punto de Inserción Inferior.....                             | 72  |
| Figura 54: Link 1.....  | 73  |
| Figura 55: Link 2.....  | 73  |
| Figura 56: Puntos de Intersección.....                                  | 74  |
| Figura 57: Chequeo Elementos de Acero.....                              | 75  |
| Figura 58: Secciones Modulo.....  | 76  |
| Figura 59: Secciones Modulo con Diagonales.....                         | 76  |
| Figura 60: Corte Lateral Modulo Con Perfiles H.....                     | 77  |
| Figura 61: Corte Frontal Modulo Con Perfiles H.....                     | 77  |
| Figura 62: Distribución Tipos de Módulos Planta Recta.....              | 79  |
| Figura 63: Distribución Tipos de Módulos Planta Oblicua.....            | 80  |
| Figura 64: Modulo Tipo A.....   | 81  |
| Figura 65: Modulo Tipo B.....   | 81  |
| Figura 66: Modulo Tipo C.....   | 82  |
| Figura 67: Modulo Tipo D.....   | 82  |
| Figura 68: Modulo Tipo E.....   | 83  |
| Figura 69: Modulo Tipo F.....   | 83  |
| Figura 70: Momento M3 de Diseño Módulo Recto.....                       | 84  |
| Figura 71: Corte V2 de Diseño Módulo Recto.....                         | 85  |
| Figura 72: Fuerza Axial Pu de Diseño Piso Módulo Recto.....             | 85  |
| Figura 73: Fuerza Axial Pu de Diseño Techo Módulo Recto.....            | 86  |
| Figura 74: Fuerza Axial Pu de Diseño Diagonal Recto.....                | 86  |
| Figura 75: Momento M3 de Diseño Módulo Oblicuo.....                     | 87  |
| Figura 76: Corte V2 de Diseño Módulo Oblicuo.....                       | 87  |
| Figura 77: Fuerza Axial Pu de Diseño Piso Módulo Oblicuo.....           | 88  |
| Figura 78: Fuerza Axial Pu de Diseño Techo Módulo Oblicuo.....          | 88  |
| Figura 79: Fuerza Axial Pu de Diseño Diagonal Oblicuo.....              | 89  |
| Figura 80: BarraRoscada.....  | 89  |
| Figura 81: Propiedades Barra Roscada.....                               | 90  |
| Figura 82: Módulos a Conectar con Núcleo Planta Recta.....              | 90  |
| Figura 83: Pórtico de Conexión Planta Recta 1.....                      | 91  |
| Figura 84: Pórtico de Conexión Planta Recta 2.....                      | 92  |
| Figura 85: Módulos a Conectar con Núcleo Planta Oblicua.....            | 92  |
| Figura 86: Pórtico de Conexión Planta Oblicua.....                      | 93  |
| Figura 87: Conexión Inferior Módulo-Núcleo Planta Recta.....            | 100 |
| Figura 88: Detalle de Conexión Inferior Módulo-Núcleo Planta Recta..... | 102 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 89: Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.....                | 105 |
| Figura 90: Detalle de la Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.....  | 108 |
| Figura 91: Detalle de la Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. .... | 111 |
| Figura 92: Conexión Inferior Módulo-Núcleo Techo Estructura. ....                                   | 114 |
| Figura 93: Conexión Superior Módulo-Núcleo Planta Oblicua. ....                                     | 116 |
| Figura 94: The Schalleer Studio.....  | 122 |
| Figura 95: The Schaller Studio Construction. ....   | 122 |
| Figura 96: The Schaller Studio Construction 2.....  | 123 |
| Figura 97: Adara Aparments.....   | 123 |
| Figura 98: Adara Aparments 2.....   | 124 |
| Figura 99: Adara Aparments Construction.....  | 124 |
| Figura 100: Adara Aparments Construction 2.....   | 125 |
| Figura 101: One9 Aparments Construction.....  | 125 |
| Figura 102: One9 Aparments Construction 2.....  | 126 |
| Figura 103: One9 Aparments Construction 3.....  | 126 |
| Figura 104: Habitat 67 .....  | 127 |
| Figura 105: Habitat 67 .....  | 127 |

## Índice de Tablas

|   |     |
|---|-----|
| Tabla N°1: Objetivos Específicos y Variables de Estudio. ....   | 18  |
| Tabla N°2: Parámetros Sismorresistentes.....  | 34  |
| Tabla N°3: Espectro de Diseño Zona 4 S1.....  | 36  |
| Tabla N°4: Espectro de Diseño Zona 4 S3.....  | 37  |
| Tabla N°5: Espectro de Diseño Zona 7 S1.....  | 37  |
| Tabla N°6: Espectro de Diseño Zona 7 S2.....  | 38  |
| Tabla N°7: Corte basal.....   | 40  |
| Tabla N° 8: Control Corte Basal Aparte 7.1.....   | 41  |
| Tabla N°9: Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 4 S1.....   | 42  |
| Tabla N°10: Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 4 S3.....  | 42  |
| Tabla N°11: Factores de Mayoración de Corte Basal Aparte 9.3.1 Zona 4 S1 ...  | 43  |
| Tabla N°12: Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 7 S1.....  | 43  |
| Tabla N°13: Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 7 S2.....  | 43  |
| Tabla N°14: Factores de Mayoración de Corte Basal Aparte 9.3.1 Zona 7 S2 ...  | 44  |
| Tabla N°15: Corte Basal Mayorado. ....  | 44  |
| Tabla N°16: Fuerza de Cada Piso Zona 4 S1.....  | 44  |
| Tabla N°17: Fuerza de Cada Piso Zona 4 S3.....  | 45  |
| Tabla N°18: Fuerza de Cada Piso Zona 7 S1.....  | 46  |
| Tabla N°19: Fuerza de Cada Piso Zona 7 S2.....  | 47  |
| Tabla N°20: Control de Deriva.....  | 49  |
| Tabla N°21: Factores de Participación.....  | 51  |
| Tabla N°22: Diseño a Flexión Núcleo de Concreto.....  | 54  |
| Tabla N°23: Diseño a Corte Núcleo de Concreto. ....   | 55  |
| Tabla N°24: Chequeo Elementos de Borde Núcleo de Concreto. ....   | 55  |
| Tabla N°25: Inercia y Áreas Equivalentes.....   | 78  |
| Tabla N°26: Cálculos Soldadura Conexión Planta Recta. ....  | 101 |
| Tabla N°27: Solicitaciones Planta Recta.....  | 101 |
| Tabla N°28: Cálculos Conexiones Apertadas en las Plantas Rectas. ....   | 103 |
| Tabla N°29: Cálculos Capacidades Resistente de las Planchas en las Plantas Rectas.....  | 104 |
| Tabla N°30: Cálculos Soldadura Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.....                                      | 106 |
| Tabla N°31: Solicitaciones Conexión.....  | 107 |
| Tabla N°32: Solicitaciones Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior. ....   | 107 |
| Tabla N°33: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.....  | 109 |
| Tabla N°34: Cálculos Capacidades Resistente de las Planchas en las Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior. .... | 110 |
| Tabla N°35: Cálculos Soldadura Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. ....                                     | 112 |
| Tabla N°36: Solicitaciones Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. ....   | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla N°37: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. .... | 113 |
| Tabla N°38: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. .... | 115 |
| Tabla N°39: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. .... | 115 |
| Tabla N°40: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. .... | 117 |
| Tabla N°41: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior. .... | 118 |
| Tabla N°42: Resumen de Resultados, Conexiones Apertadas.....                                    | 119 |
| Tabla N°43: Resumen de Resultados, Capacidades Resistentes de las Planchas. ....                | 119 |

## INTRODUCCIÓN

### Arquitectura y construcción modular

El concepto de construcción modular puede ser interpretado de manera distinta, dependiendo de los pensamientos, formación profesional y tendencias de cada individuo, pero este lleva como objetivo a una mayor eficiencia constructiva. Para analizar este concepto es necesario remontarse a los inicios de la arquitectura y construcción modular.

La industrialización de la construcción en América se inicia a mediados de 1830, con la fundación de Chicago. Para la rapidez con la que se desarrolló la ciudad, fue de gran importancia el método constructivo denominado "Balloon Frame", el cual consta de una multitud de listones delgados de dimensiones normalizadas, colocados muy cerca unos de otros, separados por una distancia modulada y simplemente clavados entre sí. Este método aprovecha la producción industrializada de la madera, reduce el tiempo de construcción y no requiere de personal especializado para su construcción, por lo que cualquiera puede construirse su propia casa. Sin este método de construcción ciudades como San Francisco y Chicago nunca habrían pasado de ser pequeños pueblos a grandes ciudades en tan solo un año.

Por otra parte, en Londres el arquitecto H. Manning crearía la primera casa prefabricada documentada, la "Portable Colonial Cottages" (1833-1840). Inicio como un prototipo de una cabaña prefabricada para su hijo quien estaba emigrando de Londres hacia Australia, convirtiéndose luego en un éxito total comercial, lo que llevaría a Manning a desarrollar distintos modelos, variando los costos y tamaños.

El sistema de la "Portable Colonial Cottages" constaba de paneles de madera los cuales funcionarían como marco, estos paneles encajaban en postes de madera ranurados y atornillados entre sí a una placa de piso, y para el techo se

utilizaban vigas triangulares. Todas las piezas eran prefabricadas y estandarizadas, lo que facilitaba su construcción y transporte.

Luego, en 1908 la empresa americana Sears Roebuck revolucionaría el mercado de la vivienda prefabricada, lanzando al mercado catálogos de viviendas que podían ser configuradas al gusto de cada comprador, ofreciendo desde la casa más simple hasta una mansión. Los compradores recibían un completo kit con más de 30.000 piezas y un manual de instrucciones de 70 páginas, el cual era transportado mediante ferrocarriles. Entre 1908 y 1940 se vendieron más de 70.000 viviendas a través de los catálogos ofrecidos por Sears Roebuck.

Al mismo tiempo en que se ofrecían los catálogos de Sears Roebuck de casas prefabricadas, el arquitecto Frank Lloyd Wright<sup>1</sup> sería el primer arquitecto importante en incursionar en el mundo de las casas prefabricadas. Wright tenía la creencia de que los edificios bellamente diseñados hacen una diferencia en nuestras vidas. Diseñó el “American System-Built Homes”, el cual es un sistema de casas que podrían ser construidas en módulos en una fábrica para luego ser ensamblados en sitio. Estas casas se diferenciaban de las de Sears Roebuck en que llevaban el sello de la visión de Wright como arquitecto, el cual se basaba en que la arquitectura de un edificio debe ir de acuerdo al entorno, que tenga la funcionalidad, cumpliendo los fines para lo cual se construyó, y que los materiales empleados para la construcción vayan en armonía con el lugar.

En Alemania en 1907 se fundaría la Deutsche Werkbund<sup>2</sup> (Asociación Gremial Alemana), con el objetivo de promover la perfección del trabajo industrial en conjunto con el arte, la industria y la artesanía. Esta asociación reunía a distintos, colectivos, artesanos, industriales, artistas, arquitectos y editores, los

---

<sup>1</sup> Frank Lloyd Wright (1867-1959) fue un arquitecto estadounidense, uno de los principales maestros de la arquitectura del siglo XX. Precursor de la arquitectura orgánica, fue el iniciador del movimiento Prairie School, desarrollando el concepto Usonian de la vivienda.

<sup>2</sup> La Deutscher Werkbund (DWB) era una asociación mixta de arquitectos, artistas e industriales, fundada en 1907 en Múnich por Hermann Muthesius. Fue una organización importante en la historia de la Arquitectura moderna, del diseño moderno y precursora de la Bauhaus.

cuales tenían como uno de sus principios, trabajar en favor de la mejora de la calidad de vida propia del desarrollo industrial del momento.

Luego de la primera guerra mundial, en la postguerra, había una fuerte escasez de viviendas, y se vio como la maquina irrumpía fuertemente en la vida del ser humano, actuando durante la guerra como un objeto de destrucción masiva. Terminada la guerra, el hombre y la maquina habrían aniquilado todo a su paso, siguiendo esta ultima su desarrollo e introducción en la vida cotidiana del hombre, penetrando en prácticamente todas sus nociones prácticas, presentándose ya no solo como un objeto utilizado para la destrucción sino también para la creación.

Esta nueva era tendría una gran influencia en prácticamente todas las nociones prácticas del hombre, incluyendo la arquitectura. Arquitectos como Walter Gropius<sup>3</sup>, fundador de La Bauhaus<sup>4</sup> en 1919, empieza a desarrollar soluciones claras y sencillas para los fuertes problemas de viviendas presentes en Alemania, lo que lo llevaría a trabajar en las viviendas modulares. Gropius tenía la ideología de que los elementos domésticos y el mobiliario deben ser relacionados racionalmente unos con otros, obteniendo el diseño de un objeto a partir de sus funciones y condicionamientos naturales. Las creaciones de Gropius parten de las necesidades de las personas.

Entre 1921 y 1923 Gropius junto a Adolf Meyer<sup>5</sup> desarrolló el sistema "Baukasten", el cual consiste en bloques de concreto para la construcción estandarizada, producidos industrialmente, los cuales podían combinarse para construir una vivienda del tamaño que fuera necesario. Esto permitió la

---

<sup>3</sup> Walter Gropius (1883-1969) Fue un arquitecto, urbanista y diseñador alemán, director en dos escuelas de arte en Weimar, transformándolas en 1919 en la nueva Staatliches Bauhaus.

<sup>4</sup> La Bauhaus fue la escuela alemana artística en la que se unificaron la arquitectura las artes plásticas y la artesanía, que ejerció enorme influencia en la arquitectura contemporánea.

<sup>5</sup> Adolf Meyer (1881-1929) fue un arquitecto alemán. Cursó sus estudios en la Escuela de Arte de Düsseldorf. Fue profesor en la Bauhaus, Sus obras más reconocidas fueron las realizadas junto a Walter Gropius, con quien colaboró en la Fábrica Fagus (1910-1911) y en el Teatro Municipal de Jena (1922-1923).

estandarización de los elementos de construcción generando bajos costos, y al mismo tiempo que hubiese variedad en las viviendas.

En 1926 la ciudad de Dessau encargaría a la escuela La Bauhaus, dirigida por Gropius, el proyecto del barrio Törten al sur de la ciudad. Dicho desarrollo, se caracterizó por su producción industrial y el alcance de la maquinaria utilizada. El proyecto fue realizado en tres etapas, en las cuales Gropius pondría a prueba todas sus ideas de la construcción de viviendas racionalizada y estandarizada. Las viviendas fueron levantadas con miembros estandarizados de concreto realizados directamente en la obra, este sistema permitía reducir el tiempo de construcción, un promedio de tres días por vivienda, y abaratar sus costes, de ese modo los mismos trabajadores podía acceder al alquiler de las mismas.

Por otra parte, en 1927, Deutsche Werkbund organizaría la exposición de arquitectura y urbanismo “Weissenhofsiedlung” (La Vivienda) en Stuttgart, cuya organización y dirección artística estaría encargada por Ludwig Mies Van Der Rohe <sup>6</sup>. La exposición tendría como fin investigar aspectos técnicos y constructivos sobre la vivienda, y propiciar la reflexión sobre las formas de vida, puestas en valor a través de una nueva arquitectura como respuesta a ciertos principios propios de la nueva era moderna como consecuencia del desarrollo industrial, principios de racionalidad en la producción basada en la industria y en la tecnología. Los principios para los cuales apuntaba la exposición eran los de racionalización, tipificación y rentabilidad

Mies Van Der Rohe pasaría a dirigir La Bauhaus en 1933. Introduciría importantes reformas conceptuales y teóricas, ratificándose en favor de la racionalización de la industria de la construcción.

---

<sup>6</sup> Ludwig Mies Van Der Rohe (1886-1969) fue un arquitecto y diseñador industrial. Dirigió la escuela Bauhaus entre 1930 y 1933, año en que fue clausurada.

Por otra parte, en 1923 el arquitecto conocido como Le Corbusier<sup>7</sup> publicaría un texto titulado “Hacia una Arquitectura”, siendo esta una de las obras de gran influencia sobre la arquitectura moderna, generando grandes cambios en los modos de pensar, producir y habitar la vivienda. En este libro Le Corbusier sentenció que los espacios deberán ser funcionales, seriados, modernos y sin vinculación con la historia. Habla de la nueva casa como la “Máquina de Habitar”, proponiendo una nueva relación entre la máquina y el hombre.

Le Corbusier hablaba de la casa como una máquina, la cual debía ser un objeto útil para el hombre, una herramienta, fabricándola mediante la utilización de piezas elaboradas en las industrias al igual que un auto, un avión o un barco. “El maquinismo, hecho nuevo en la historia humana, ha suscitado un espíritu nuevo. (...) La vida moderna exige, espera, un nuevo plan para la casa y para la ciudad” (Le Corbusier, 1923).

Le Corbusier estuvo siempre atento de todos los adelantos técnicos y tecnológicos que surgieran, fanático de los automóviles y aviones, considerando aquellos que tenían diseños prácticos y funcionales como modelo para una arquitectura cuya belleza se basara en la practicidad y funcionalidad.

A través de su siguiente publicación “El Modulor” le Corbusier daría continuidad a todas sus ideas. Este sería la propuesta de Le Corbusier a un sistema de medidas universal superior a los ya existentes, siendo el resultado de sus estudios de las relaciones entre el cuerpo humano y las matemáticas. Los principales objetivos de El Modulor eran la normalización, la prefabricación y la industrialización, haciendo que algo construido en cualquier parte del mundo que utiliza un sistema de unidades fuese compatible con cualquier otro sitio que utilice otro sistema, como por ejemplo América y Europa. El Modulor se basaba

---

<sup>7</sup> Le Corbusier (1887-1965) fue un arquitecto y teórico de la arquitectura, urbanista, decorador de interiores, pintor, escultor y hombre de letras suizo nacionalizado francés en 1930.

en la medida de un hombre de 1,83 metros de altura, que con el brazo en alto alcanzaría aproximadamente 2,20 metros.

Se puede decir que para la arquitectura hubo un antes y un después de esta época marcada por arquitectos como Le Corbusier, Gropius, la escuela La Bauhaus dirigida por Gropius y luego por Ludwig Mies Van Der Rohe, dando inicio a la Arquitectura moderna.

Años después, durante la Segunda Guerra Mundial, el Sistema de construcción modular se popularizó debido al requerimiento masivo de viviendas, edificaciones y campos militares. Estos proyectos se caracterizaban por su rápida construcción, comodidad y bajo costo. Posteriormente a la Guerra, se continuaron las construcciones con dicho sistema para reconstruir las ciudades y proporcionar a los habitantes viviendas y servicios primordiales. El Reino Unido es un ejemplo de lo antes expuesto, luego de la Guerra en 1948, construyeron más de 160.000 unidades a lo largo del país, rehabilitando las ciudades y proporcionando viviendas a sus habitantes. Debido a su gran versatilidad, el sistema siguió creciendo y desarrollándose durante los años siguientes, garantizando la producción necesaria para su uso en la construcción de centros educativos, hospitalarios y viviendas durante el incremento poblacional a nivel mundial que surgió durante los años 1950 y 1960.

En esta época se hizo muy popular el sistema constructivo cerrado a base de paneles los cuales eran montados utilizando Grúas-Torre, sobre todo en los países que conformaban la unión europea. La industrialización fue prácticamente impuesta a los constructores debido a la gran urgencia y al ahorro económico que significaba.

En la década de los 70, se llevó a cabo la construcción de unos de los proyectos modulares de gran importancia y el primero de su clase, el Nakagin Capsule

Tower situada en Tokio, Japón. Diseñada por el arquitecto Kisho Kurokawa<sup>8</sup>, esta obra fue completada en 1972 y es uno de los primeros ejemplos del Movimiento Metabolista, un movimiento arquitectónico emblemático que surgió en Japón, también conocido hoy en día como el Movimiento Modernista. El proyecto consta de dos núcleos de concreto, uno de once y otro de trece plantas, a los cuales están conectados los módulos prefabricados o capsulas, estas a su vez pueden ser combinadas para crear espacios de distintos tamaños. La construcción de estos módulos se llevó a cabo en fábrica, donde eran ensambladas y equipadas con servicios y mobiliario, para luego ser conectadas al núcleo.

Otros de los proyectos iconos, desarrollados en la misma época fue el proyecto Hábitat 67, desarrollado especialmente para la Expo Mundial de 1967 en Montreal por el arquitecto Moshe Safdie<sup>9</sup>, el proyecto estaba basado en el desarrollo de un complejo de apartamentos, compuestos por módulos de concreto previamente fabricados. Originalmente el Hábitat 67 estaba planeado para tener 1000 unidades, pero durante su construcción se redujo a 158 unidades. Aunque económicamente no fue exitoso debido a su localización, este proyecto demostró versatilidad y la rapidez de este sistema a través de la fabricación industrializada de los módulos. La construcción de estos proyectos fue de suma importancia para el desarrollo de este sistema de constructivo, debido que a raíz de su construcción se desarrollaron nuevas tecnologías.

Hoy en día, la construcción modular es uno de los sistemas constructivos con mayor crecimiento a nivel mundial, debido a que este sistema utiliza las técnicas de la construcción tradicional y las combina con técnicas de producción industrializadas para una elaboración más rápida, económica y con los mejores

---

<sup>8</sup> Kisho Kurokawa (1934-2007) arquitecto japonés y uno de los fundadores del Movimiento Metabolista.

<sup>9</sup> Moshe Safdie (1938-Presente) es un arquitecto israelí-canadiense, principalmente conocido por el proyecto Habitat 67, Realizó sus estudios de arquitectura en Estados Unidos, donde fue discípulo de Louis Kahn en Filadelfia.

estándares de calidad gracias a su producción en fábrica. Entre los países con mayor desarrollo de esta tecnología hoy en día tenemos:

- Suecia, representando alrededor de un 84% de la industria constructiva del país. A diferencia del resto de los países en esta lista, Suecia no se conoce por llevar a cabo proyectos de gran escala, sino por el contrario, el desarrollo de pequeños proyectos (viviendas) a gran escala.
- Holanda, representando alrededor de un 20% de la industria constructiva del país.
- Japón, representando alrededor de un 15% de la industria constructiva del país. Al igual que el Reino Unido luego de la Segunda Guerra Mundial, Japón llevó a cabo un plan constructivo masivo para reestablecer sus ciudades y proporcionarles viviendas a sus habitantes. Este plan se llevó a cabo mediante el uso del sistema modular, produciendo así una suma importante de viviendas conformadas por módulos prefabricados de concreto. Luego del Gran Sismo de Hanshin de 1995, quedó confirmado que el sistema no solo era versátil, ecológico y económicamente viable, sino que también era capaz de soportar un sismo de gran escala, lo que llevó a la popularización de dicho sistema a nivel mundial.
- Alemania, representando alrededor de un 9% de la industria constructiva del país.
- Australia, representando alrededor de un 3% de la industria constructiva del país, con un valor de \$4.5 billones de dólares. Entre los proyectos de mayor importancia están: Adara Apartments en Western Australia, One9 en Victoria, La Trobe Tower en Melbourne, siendo este la edificación modular residencial más alta del país, con una altura de 133 metros cuenta con 44 pisos y 206 apartamentos, entre otros proyectos.

En los últimos 20 años, el sistema modular se ha visto beneficiado debido al uso de programas de diseño asistido y por la maquinaria desarrollada a través de los años, específicamente las grúas, las cuales permiten la construcción de

edificaciones tan altas y anchas como se desee. Este tipo de construcción ofrece ciertas ventajas sobre el sistema tradicional, entre ellos:

- Mejores Estándares de Calidad de Control durante la construcción, debido a que su construcción se lleva a cabo en ambientes controlados.
- Mayor eficiencia y rapidez en la construcción del proyecto (menores periodos de construcción).
- Económico, debido a la producción industrializada de sus elementos (módulos).
- Sistema Liviano y Estructuralmente Estable.
- Sustentable, debido al uso de materiales reciclables para la construcción de los módulos.
- Menor requerimiento de mano de obra en sitio.

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del problema

Actualmente en Venezuela la construcción de edificaciones es llevada a cabo mediante el sistema constructivo tradicional, que se caracteriza por la ejecución de estructura en campo. Aunque representa el sistema constructivo más utilizado hoy en día, este sistema trae consigo algunas desventajas, como lo es el factor tiempo, debido al proceso de armado y encofrado de cada miembro estructural para posteriormente esperar el proceso de fraguado de concreto; esto trae consigo inversión importante en lo que concierne a personal, tiempo y dinero; sin tomar en cuenta los problemas que se puedan presentar a lo largo del proyecto, ya sea por material, falta de personal o cualquier otra eventualidad que se pueden presentar en el día a día.

Ahora bien, en la actualidad en distintos países desarrollados como Australia, China, Japón, entre otros, se ha popularizado el sistema constructivo, denominado Sistema Modular o como se conoce comúnmente Sistema tipo Lego. Como bien lo indica su nombre este sistema se basa en la construcción de una edificación a través de la unión de diversos componentes estructurales prefabricados, denominados módulos, los cuales representan los principales elementos de dicho sistema. Estos son anteriormente diseñados, fabricados y ensamblados en fábricas bajo un ambiente controlado; para garantizar la máxima calidad, seguridad y rapidez de ensamblado en obra.

A diferencia del sistema tradicional, el modular se caracteriza por ser un sistema de rápida elaboración, con un promedio de instalación entre 6 a 8 módulos

diarios, garantizando la finalización de un proyecto entre un 30% y un 50% más rápido que el sistema tradicional. Otras ventajas a destacar son, bajos costos de producción debido al control y a la elaboración en fábrica; su bajo peso lo que conlleva a fundaciones de menor dimensión y por ende un ahorro económico sustancial, y por ultimo pero no menos importante, permite la modificación y ampliación de la estructura luego de ser finalizada de una manera rápida y sencilla, mediante la introducción o extracción de módulos.

Debido a lo antes expuesto, se realizará un análisis sismorresistente a una edificación residencial de clase media de 6 pisos, compuesta por dos núcleos de concreto reforzado en forma de "C" a los cuales serán anclados los miembros modulares y a su vez conectados entre sí a través de conexión de pernos. La misma poseerá todos los requisitos adicionales para el diseño en zonas sísmicas, y será analizada en las zonas sísmicas extremas, es decir zona 4 y zona 7, fundada sobre dos materiales distintos, roca blanda con una profundidad a la roca fresca menor a 30 metros y sobre suelos blandos con una profundidad a la roca fresca menor a 15 metros.

## **1.2 Objetivos de estudio**

### ***1.2.1 Objetivo general***

Evaluación del comportamiento sísmico de un proyecto estructural modular compuesto prefabricado, bajo lo establecido en la norma COVENIN 1756-1:2001 y la norma COVENIN 1618:1998.

### ***1.2.3 Objetivos específicos***

1. Analizar el comportamiento sismorresistente de un modelo computacional de una estructura modular compuesta prefabricada, en las zonas sísmicas extremo (Zona 4 y Zona 7).
2. Analizar el comportamiento sismorresistente de un modelo computacional de una estructura modular compuesta prefabricada, en suelos blandos/sueltos y roca blanda.
3. Analizar el comportamiento sismorresistente del sistema de conexiones, según las zonas sísmicas establecidas.

### **1.3 Alcances y limitaciones**

La estructura será analizada únicamente en las zonas sísmicas extremo (zona 4 y zona 7).

Fundada sobre dos materiales distintos:

- o Roca blanda con una profundidad a la roca fresca menor a 30 metros.
- o Suelos blandos con una profundidad a la roca fresca menor a 15 metros.

El estudio de las conexiones se limitara única y exclusivamente a las conexiones entre la estructura de acero (módulos) y el núcleo de concreto reforzado.

El análisis de la estructura no incluye el estudio de las fundaciones ni el análisis por vibraciones de la estructura.

No se llevara a cabo un estudio de costos.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Antecedentes

Rangel, J. Tutor: Vincenti, J. Universidad Nueva Esparta, Caracas.

*Propuesta de un plan constructivo universal implementando contenedores marítimos prefabricados para la transformación del barrio tugurio en urbanización. (2006)*

Este trabajo de grado propone un sistema constructivo, el cual se trata de la construcción de una vivienda utilizando contenedores marítimos con el fin de transformar los barrios tugurios en urbanizaciones. El proceso de investigación arrojó como resultado un proyecto de vivienda la cual cuenta con características resistentes muy altas en cuanto a deformaciones por esfuerzos aplicados en cualquier parte de su superficie.

Robles, A. Castillo, G. Tutor: Ruiz, D. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

*Modelación de un sistema estructural prefabricado de bajo peso sometido a cargas sísmicas para la construcción de viviendas. (2005)*

Esta investigación tuvo como propósito, analizar el comportamiento sísmico obtenido mediante la modelación por elementos finitos del sistema constructivo de vivienda planteado y elaborado por la empresa METCOL, el cual es un sistema estructural alternativo prefabricado de bajo peso para la construcción de viviendas sismoresistentes. En este análisis se llegó a establecer que el sistema puede cumplir con los parámetros establecidos teniendo en cuenta las recomendaciones dadas para el diseño y la construcción del sistema.

Carrillo, F. López, H. Tutor: Godínez, R. Bermúdez, R. Universidad de El Salvador, San Salvador.

*Aplicaciones de puentes metálicos modulares en El Salvador. (2006)*

En esta investigación se desarrolla, la búsqueda de criterios de mejor aplicación de puentes metálicos modulares, basados en funcionamiento, y utilidades históricas, reconocimientos de las de las piezas de los fabricantes de puentes metálicos modulares utilizados en el país, Bailey, Mabey Compact 200, Acrow Panel, detalladamente, para conocer la respuesta mecánica que tienen en cada modulación de vigas que ellos producen, esto es cargas axiales, fuerzas cortantes y momento flexionante individualmente y la estructura en conjunto.

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 Sistema modular

El término “Sistema Modular”, se presta a distintas interpretaciones en el ámbito constructivo, que varían dependiendo del profesional. Como se puede observar en las siguientes entrevistas que llevamos a cabo a distintos profesionales en el área de la construcción, para conocer su interpretación de dicho termino.

#### **Arg. Francisco Pimentel Malaussena<sup>10</sup>**

En el proceso de diseño de edificaciones se establece desde su inicio una relación de trabajo entre los responsables del diseño arquitectónico y del diseño estructural, a fin de optimizar dicho diseño en función de:

- El uso de la edificación.
- La flexibilidad funcional y operativa de la misma considerando el resto de especialidades tales como de instalaciones eléctricas, mecánicas, sanitarias, y contra incendio.
- Los recientes avances en el diseño de edificaciones con unos altos ahorros energéticos y amables con el ambiente.

Una de las principales herramientas para el logro de estos objetivos es la modulación de los espacios en función del uso, y otros determinantes programáticos y técnicos, lo cual permite mayor eficiencia y menores costos de ejecución.

---

<sup>10</sup> Francisco Pimentel Malaussena, Arquitecto graduado en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV en el año 1957. Profesor de Diseño Arquitectónico en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV por 35 años, 60 años de experiencia laboral, con una amplia participación gremial a lo largo de su Carrera

Ante la necesidad de mantener cronogramas y reducir tiempos y costos, el concepto de modulación a la ejecución de elementos repetitivos, permite incluso la prefabricación y facilidad de montaje, especialmente en elementos concebidos desde el inicio bajo este objetivo, el control de inventarios y pedidos de componentes y materiales de construcción, así como la posibilidad de incorporar elementos fabricados fuera del sitio de la obra en talleres especializados.

Igualmente esto permite, en esa alianza arquitecto-ingeniero estructural desde el inicio del diseño, la coordinación eficiente en la superposición de usos, frecuente en las actuales edificaciones y el pre dimensionamiento de elementos estructurales verticales y horizontales, por ejemplo inicio en sótanos destinados para estacionamiento con un diseño modular eficiente al tamaño de los vehículos y espacios para estacionar, áreas de circulación de los mismos etc. y pisos superiores destinados a comercios y oficinas o viviendas multifamiliares.

Hoy cada vez se incrementa más el diseño tipo LEGO, de elementos completos prefabricados en plantas que se insertan en una malla estructural, a similitud de lo que se hace en los grandes barcos de cruceros. De esto vemos ejemplos de hoteles, apartamentos, etc.

La inteligencia está en conjugar la idea arquitectónica con las exigencias del diseño estructural y reticular. El uso de programas avanzados o simples de software, son una ayuda muy eficaz para el análisis de las diversas propuestas y alternativas.

### **Arq. Oscar Capiello<sup>11</sup>**

Edificación Modular, este término se puede prestar a distintas interpretaciones. Una de ellas es el desarrollo de una edificación principal a través de la unión de distintos módulos que se conectan entre sí para formarla. Por otra parte es una forma de construcción, que se basa en el desarrollo de un conjunto de edificaciones similares, más no iguales, que se interconectan entre sí para formar una unidad (Ejemplo: los edificios de módulos de la UCAB).

### **Ing. Jorge Rojas**

Edificación modular, es un grupo de módulos prefabricados que se conforman para formar una unidad, con la ventaja que el mismo puede aumentar o reducir su capacidad dependiendo de lo requerido.

### **Ing. Francisco Pimentel**

Edificación Modular, es un grupo de edificaciones separadas unidas a través de una junta que conforman una unidad. Esto se realiza en la mayoría de los proyectos de gran escala debido a que estos no pueden ser construidos como una sola unidad, porque podrían llegar a fallar, es por eso que son divididos en módulos y se utiliza una junta para unificarlos.

Como se puede observar, dependiendo de cada individuo se tiene una interpretación distinta del término, pero todos coinciden en un aspecto: se denomina, construcción modular a toda aquella estructura conformada por una

---

<sup>11</sup> Graduado en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Tesis de Grado: Corte Suprema de Justicia – Sobresaliente – (1982). Tesis de Grado: Corte Suprema de Justicia – Sobresaliente – (1982). Cursos en la Universidad Católica Andrés Bello y en la Universidad Simón Bolívar. Miembro del Colegio de Ingenieros de Venezuela. Miembro del Colegio de Arquitectos de Venezuela. Premio IX Bienal de Arquitectura Vivienda Multifamiliar (1998). Premio IX Bienal de Arquitectura Vivienda Unifamiliar (1998).

serie elementos individuales, ya sean elementos prefabricados individuales (módulos) o edificaciones aporticadas individuales, que mediante una junta o conexión forman una unidad. Ahora bien, existe una gran diferencia entre ambas interpretaciones, puesto que una está basada en un sistema constructivo moderno que busca el desarrollo de estructuras a través de elementos prefabricados, para lograr una minimización en el tiempo de ejecución de la obra a través de los procesos prefabricación y estandarización de sus miembros, y a su vez, la maximización de la eficiencia, logrando una notable reducción en los costos de construcción gracias al acortamiento de los tiempos de construcción, el aprovechamiento de los materiales y de los recursos necesarios con un mayor control de calidad. Mientras que la otra está basada, en la separación de un proyecto de gran escala para evitar el colapso del mismo.

### **2.2.2 Módulo**

El diccionario de la universidad de Oxford<sup>12</sup> define un módulo como “Medida que se toma convencionalmente como norma o regla para medir o valorar cosas de la misma naturaleza”, también establece que un módulo es un “Elemento con función propia concebido para poder ser agrupado de distintas maneras con otros elementos constituyendo una unidad mayor”.

De acuerdo a lo antes planteado, un módulo puede tener distintas definiciones, dependiendo de la aplicación que se le va a dar, en el caso de este trabajo se refiere a aquel elemento que fue fabricado para agruparse con otros elementos para formar una unidad.

En el mismo orden de ideas, existen varios tipos de módulos entre ellos tenemos:

- Módulos Cerrados.

---

<sup>12</sup> La Universidad de Oxford, emplazada en la ciudad homónima del Reino Unido, es la universidad de habla inglesa más antigua del mundo.

- Módulos Parcialmente Abiertos.
- Módulos Abiertos.
- Módulos Mixtos.
- Módulos de Escalera.

### **2.2.3 Estructura Sismorresistente**

La norma venezolana COVENIN 1756-1:2001 <sup>13</sup> establece que un sistema resistente a sismos es aquel que “Parte del sistema estructural que se considera suministra a la edificación la resistencia, rigidez y ductilidad necesarias para soportar las acciones sísmicas”.

En el mismo orden de ideas, una edificación es sismorresistente cuando es diseñada y construida con todos sus elementos con dimensiones y materiales con resistencia adecuada para soportar la acción de las fuerzas generadas por el sismo de diseño, cumpliendo con todos los requisitos sismorresistentes establecidos en las normas de diseño. Toda edificación debe ser diseñada con el fin de que al momento de actuar un sismo esta no colapse, minimizando en lo posible los daños materiales y no cause la pérdida de vidas humanas.

Para que una estructura sea sismorresistente debe cumplir con ciertas características principales muy importantes, como la geometría en planta y en elevación, la cual debe ser sencilla para no generar problemas en el comportamiento de la edificación, también las fundaciones son de gran importancia, debido a que estas son las encargadas de recibir todo el peso de la estructura y transmitirlo al suelo, el cual debe ser de un material de buena calidad, ya sea arenoso o arcilloso; y es de gran importancia la calidad con los materiales con los que se va a construir y el control de calidad en la construcción.

---

<sup>13</sup> Norma venezolana COVENIN 1756-1:2001. Edificaciones Sismorresistentes. p 7.

#### **2.2.4 Procesos de industrialización**

La industrialización es, según el diccionario de la universidad de Oxford, “Sometimiento de un producto o una actividad económica a la explotación organizada del proceso industrial”, a su vez establece que la industria es toda aquella actividad económica y técnica que consiste en transformar las materias primas hasta convertirlas en productos adecuados para satisfacer las necesidades del hombre.

A través de la industria tener una mejor eficiencia en la construcción, mejorando los tiempos de construcción de la obra, debido a que la elaboración de todos los elementos constructivos es realizada en fabrica para luego en campo conectar todos los distintos elementos prefabricados en la industria, eliminando así tiempos de espera por colocación de aceros, fraguado de concreto, mal tiempo, etc. Y al mismo tiempo se obtiene una mejor calidad de estos por el trabajo en espacios cerrados y controlados, mientras que cuando se trabaja de la forma tradicional en campo se corre el riesgo de tener una menor calidad de construcción por la falta de especialización del personal obrero o por falta de supervisión, generando a su vez mayores pérdidas de materiales.

A su vez, con la construcción industrializada se reduce notablemente la contaminación que es generada en el entorno en que es llevada a cabo la construcción, debido a que se reduce notablemente el tiempo de trabajo en campo y se disminuye la cantidad de desechos y polvo generado por el trabajo en campo.

### **2.2.5 Procesos de estandarización**

La estandarización es ejecutar los procesos que son desarrollados en una organización de forma uniforme, de manera de asegurar la calidad de los productos y/o servicios realizados. Mediante la estandarización se busca que las actividades a realizar se hagan mediante un proceso establecido previamente. En este sentido, la estandarización de los procesos constructivos permitiría trasladar la ejecución de gran parte de los procesos realizados en obra a la prefabricación en taller, lo que eliminaría una gran cantidad de variables inciertas a las cuales está sometida la construcción en obra, aplicando procesos industriales standards de fabricación, más sistematizables y controlables.

Por otra parte, existen otras grandes industrias que le llevan una gran ventaja a la industria de la construcción en el tema de la estandarización, como la industria automotriz, estandarizando métodos de trabajo, elementos constructivos, materiales, maquinaria, etc. El uso de procesos estandarizados en la construcción trae consigo grandes beneficios en las distintas etapas de la obra, por ejemplo, en los procedimientos de diseño, de revisión y estudios se hace mucho más fácil y rápido que con las obras convencionales, también se obtienen mejores detalles y especificaciones en los planos, se obtendría un personal más entrenado con mejores capacidades de construcción y sistemas de supervisión, mejores controles de calidad, entre muchos otros beneficios; lo que conlleva a una gran disminución en el tiempo de construcción y costos.

### **2.2.6 Conexiones**

Las estructuras metálicas están compuestas por distintos elementos estructurales, que deben vincularse a través de conexiones que garanticen la transmisión de las fuerzas entre los distintos miembros. Para el diseño de dichos componentes, se debe tomar en consideración los siguientes parámetros: el tipo de conexión, la fabricación y los aspectos de montaje.

La Norma COVENIN 1618:1998<sup>14</sup>, establece la siguiente clasificación de conexiones:

**Tipo TR:** Son conexiones totalmente restringidas, o conexiones rígidas estas se caracterizan por tener la suficiente rigidez para mantener inalterado los ángulos entre los miembros que se interceptan.

**Tipo PR:** Son conexiones parcialmente restringidas, no poseen la suficiente rigidez para mantener los ángulos entre los miembros que se interceptan.

**Flexibles:** Son conexiones sin restricciones o de extremos simplemente apoyados.

Estas conexiones pueden ser realizadas mediante soldadura o pernos, o el trabajo en conjunto de ambos. La soldadura es una de las principales tipos de conexión, consiste en la unión de dos piezas metálicas mediante la fusión superficial localizada a través de la aplicación de calor, en presencia o no de un material de aporte. Es de suma importancia tener en consideración que dicho proceso afecta la estructura física de los materiales involucrados.

Ciertas ventajas, de la aplicación de este tipo de conexiones son la reducción de los costos debido a que conlleva a menores requerimientos de acero, sin embargo poseen limitaciones importantes entre ellas la ejecución e inspección de forma adecuada en campo, debido a las condiciones de trabajo.

A su vez las soldaduras, se dividen en cuatro tipos de soldadura:

1. Penetración Completa.
2. Penetración Parcial.

---

<sup>14</sup> Norma venezolana COVENIN 1618:1998. Estructuras de Acero Para Edificaciones. Clasificación según el tipo de conexiones.

3. Filete.
4. Tapón o Canal.

Por otra parte hoy en día, debido al desarrollo tecnológico en el área de la construcción se ha logrado la fabricación de pernos de alta resistencia, lo que ha generado excelentes resultados. Sin embargo en la fabricación de estas uniones se requiere de un planteamiento detallado de fabricación, cuya precisión milimétrica debe ser estrictamente respetada con el fin de evitar problemas en el montaje.

En relación con lo anterior, la tendencia actual en la construcción de proyectos de acero es la implementación de uniones apernadas en campo, cuya inspección y control de obra es más fácil y económica.

### **2.3 Definición de Términos Básicos**

1. Industrialización: Proceso de modernización que consiste en la producción de bienes a gran escala, mediante el uso de maquinaria. También se puede decir que la industrialización, es sinónimo de crecimiento, desarrollo y modernización económica. (eumed Enciclopedia Virtual)
2. Prefabricado: Elemento o componente que ha sido fabricado en serie para facilitar el montaje o construcción en su ubicación de destino. (Real Academia Española, 2017)
3. Paneles: Plancha prefabricada de diversos materiales que se usa en construcción para dividir o separar verticalmente espacios. (Oxford Living Dictionaries, 2017)
4. Vigas: Elemento estructural que pueden ser de concreto armado, acero o madera, diseñado para sostener cargas lineales, concentradas o uniformes, en

una sola dirección. La misma puede actuar como elemento primario en un sistema aporticado, como también pueden utilizarse como elemento secundario para brindar soporte a un sistema primario. (Requejo, 2014)

5. Estandarización: La estandarización es el proceso de ajustar o adaptar características en un producto, servicio o procedimiento; con el objetivo de que éstos se asemejen a un tipo, modelo o norma en común. (gob.mx, 2016)

6. Arquitectura: Arte o disciplina, que consiste en emplear distintas técnicas para planear, proyectar, diseñar y realizar distintos proyecto o edificaciones. La misma se encarga de la organización de los espacios, la forma, utilidad y belleza al ambiente físico, para cubrir y satisfacer ciertas necesidades de los seres humanos. (conceptodefinicion.de, 2015)

7. Viviendas Modulares: Son el nuevo concepto de vivienda moderna, estas representan viviendas construidas a partir de secciones estandarizadas, previamente fabricadas, enviadas a su ubicación definitiva para su ensamblaje final. (Modular Home, 2015)

8. Racionalización: Organizar la producción o el trabajo de manera que aumente los rendimientos o reduzca los costos con el mínimo esfuerzo. (Real Academia Española, 2017)

9. Maquinismo: Fue la esencia de la primera revolución industrial, se inició en Inglaterra con la invención de la máquina de vapor por James Watt. Hoy en día este representa, el reemplazo del esfuerzo físico e intelectual del hombre en la economía y, en general, en la operación de la sociedad. (Borja, 2012)

10. Movimiento Modernista: es un movimiento arquitectónico que surgió en las primeras décadas del siglo XX a través de un conjunto de tendencias que marcaron una ruptura con respecto con el diseño tradicional, en lo

correspondiente a la configuración de espacios, formas compositivas y estéticas. (ARQHYS, 2012)

11. Sistema Constructivo: Es un conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular. (Tapia, 2012)

12. Sistema Estructural: Son las estructuras compuestas de varios miembros, que soportan las edificaciones y tienen además la función de soportar las cargas que actúan sobre ellas transmitiéndolas al suelo. (ecured, 2017)

13. Sistema Constructivo Tradicional: Es el sistema de construcción más difundido y el más antiguo. Basa su éxito en la solidez, la nobleza y la durabilidad (dependiendo del material). Se entienden por sistemas constructivos tradicionales aquellos que tienen un sistema de industrialización bajo, considerados sistemas constructivos artesanales, donde la producción se realiza con equipos simples (herramientas de mano) y mano de obra simple. (Cadena, 2014)

14. Fraguado: Proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. (Arqhys, 2012)

15. Requisitos Sismorresistentes: Son los requisitos básicos que una edificación deben cumplir para ser catalogada como sismorresistente. Entre los requisitos básicos tenemos: Columnas Fuerte - Viga Débil, Evitar el uso de Columnas Cortas y Poco Refuerzo, Confinamiento Adecuado de Columnas, Evitar discontinuidades en las Columnas, Uso de Refuerzos Transversal, entre otros. (Blanco, 2012)

16. Zonas Sísmicas: Zona geográfica en la cual se admite que la máxima intensidad esperada de las acciones sísmicas, en un período de tiempo prefijado, es similar en todos sus puntos. (COVENIN 1756-1:2001)

## 2.4 Variables de Estudio

Según Arias (2006), “Una variable es una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación”.

Basándose en lo descrito anteriormente, a continuación se presenta la siguiente tabla (Tabla N°1), donde se puede visualizar las variables de estudio que harán respuesta a cada objetivo específico.

Tabla N°1: **Objetivos Específicos y Variables de Estudio.**

| Objetivos Específicos   | Variables                       |
|---|---------------------------------|
| Analizar el comportamiento sismorresistente de un modelo computacional de una estructura modular compuesta prefabricada, en las zonas sísmicas extremo (Zona 4 y Zona 7). | Zonas Sísmicas                  |
| Analizar el comportamiento sismorresistente de un modelo computacional de una estructura modular compuesta prefabricada, en suelos blandos/sueltos y roca blanda.         | Tipo de Suelo (Forma Espectral) |
| Analizar el comportamiento sismorresistente del sistema de conexiones, según las zonas sísmicas establecidas.   | Tipo de Conexión                |

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En siguiente capítulo, se llevara a cabo la explicación de la metodología empleada en el desarrollo del presente Trabajo de Investigación, las cuales incluyen: Herramientas, Métodos, Técnicas de Recolección de Datos, entre otras.

#### 2.1 Tipo de Investigación

El Trabajo de Grado, está orientado al análisis del comportamiento sismorresistente de una edificación modular prefabricada compuesta, por lo que se encuentra dentro de la modalidad de una Investigación Experimental.

En relación con la cita textual, Arias (2006) señala:

La investigación experimental es un proceso que consiste en someter un objeto o individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

Para el desarrollo de la investigación experimental, se deben llevar acabo una serie de etapas, Arias (2006) establece:

- Pre experimental: Este diseño es una especie de prueba o ensayo que se realiza antes del experimento verdadero. Su principal limitación es escaso control sobre el proceso, por lo que su valor científico es muy cuestionable y debatible.
- Cuasi experimental: Este diseño es “casi” un experimento, excepto por la falta de control en la conformación inicial de los grupos, ya

que al no ser asignados al azar los sujetos, se carece de seguridad en cuanto a la homogeneidad o equivalencia de los grupos, lo que afecta la posibilidad de afirmar que los resultados son producto de la variable independiente o tratamiento.

- Experimental Puro: A diferencia de los diseños anteriores en el experimento puro se debe controlar todos los factores que pudieran alterar el proceso. Este modelo cumple con dos requisitos fundamentales: Empleo de Grupos de Comparación y Equivalencia de los Grupos mediante la Asignación Aleatoria o al Azar.

## **2.2 Población y Muestra**

Basado en Arias (2006),

La población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio.

La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible.

De acuerdo a lo antes planteado, la población de esta investigación está representada por los infinitos tipos de edificaciones modulares existentes, mientras que la muestra es una estructura modular compuesta prefabricada, la cual está conformada por un núcleo de concreto reforzado al cual serán anclados los módulos.

## **2.3 Método para el análisis de los resultados**

Para el análisis de los resultados y logros de los objetivos planteados durante la investigación se harán uso de las siguientes herramientas:

- ETABS 16: “Es un *software* innovador y revolucionario para análisis estructural y dimensionamiento de edificios.” (Computers & Structures,INC, 2017).

## CAPITULO IV

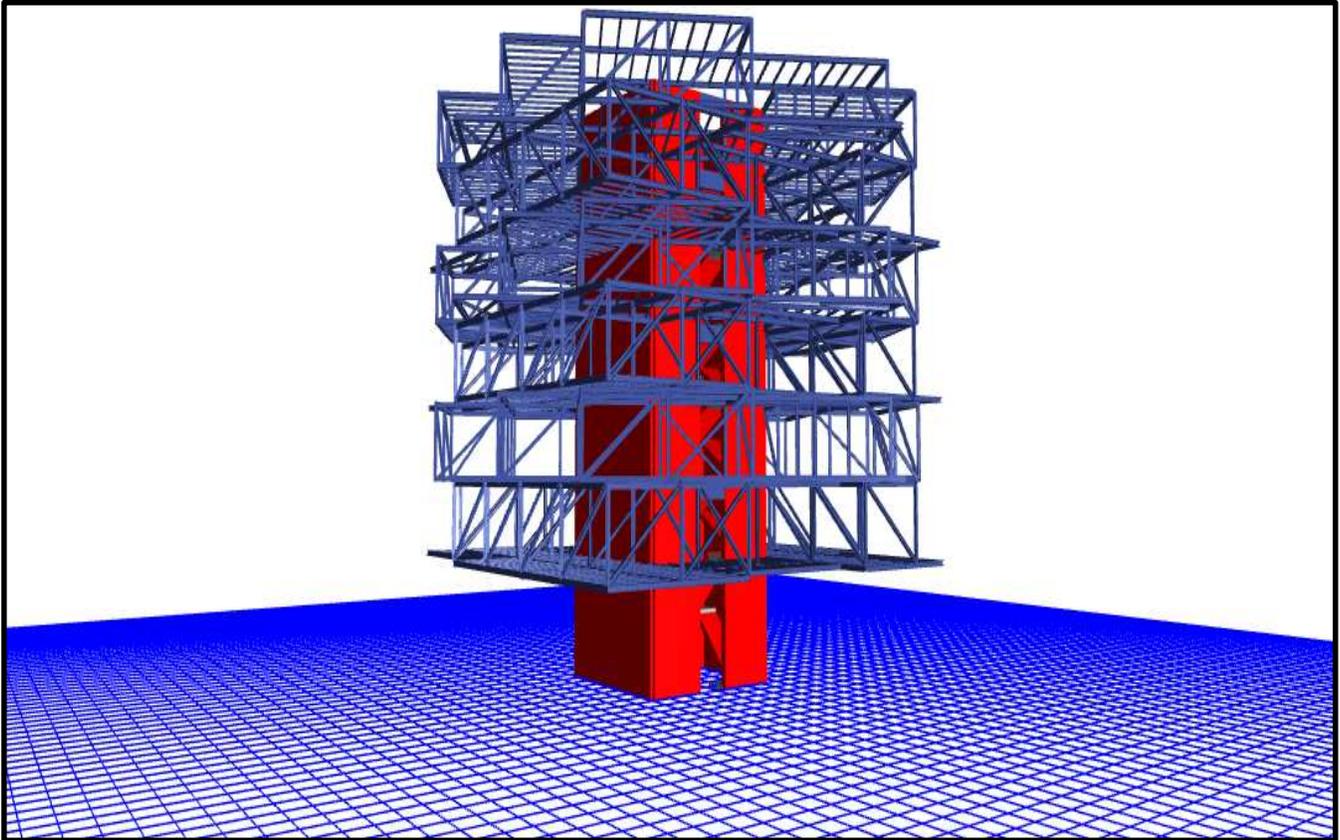
### PROYECTO DE EDIFICACION MODULAR PREFABRICADA

#### 4.1 Descripción de la edificación a estudiar

La estructura planteada, como lo dice el título, es una edificación modular prefabricada, es decir que está conformada principalmente por módulos de acero los cuales son elaborados en fabrica y luego ensamblados en el sitio para conformar la estructura, este sistema permite tener una infinita variedad de diseños arquitectónicos variando la forma de distribución de los módulos.

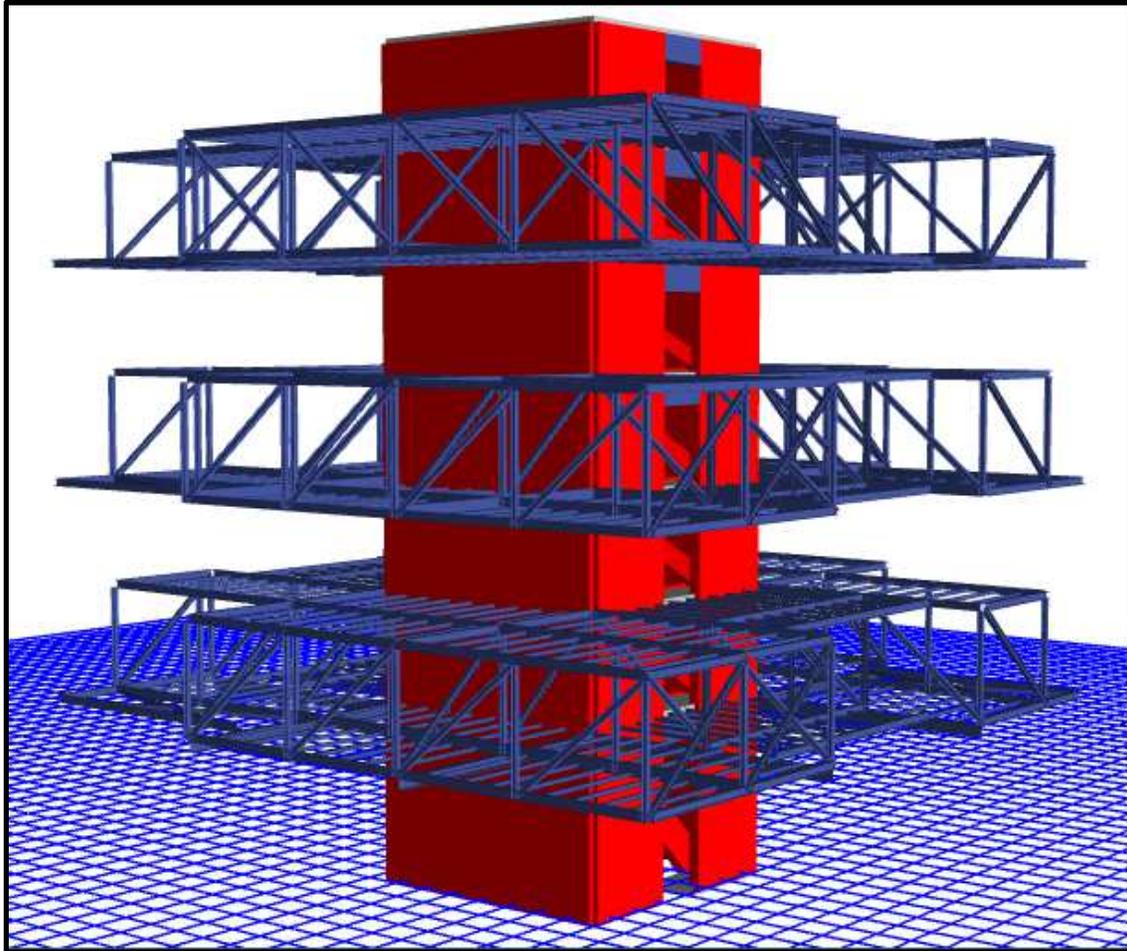
Ahora bien, la estructura que se plantea es un edificio de 6 niveles, constituida por un núcleo de concreto al cual se encuentran anclados los módulos. Como se mencionó anteriormente, se pueden tener infinitos diseños, teniendo distintas configuraciones en la distribución de los módulos tanto vertical como horizontalmente. Debido a esto se plantean a continuación distintas alternativas de aplicación del Sistema Modular de manera de demostrar la versatilidad del mismo.

La primera alternativa, consiste de un núcleo central de concreto reforzado conformado por un conjunto de módulos los cuales se encuentran en volado y a su vez conectados entre sí de manera de formar las distintas plantas de la edificación. Dicha alternativa se caracteriza por poseer una configuración distinta en cada planta; la planta baja está conformada únicamente por el núcleo dejando los módulos que conforman las demás plantas totalmente en volado, las plantas de los pisos 1, 3 y 5 son similares y con sus miembros estructurales orientados en sentidos paralelos al núcleo, por otra parte, los pisos 2, 4 y 6 están orientados con un ángulo de 60° (oblicuos) con respecto al núcleo central.



**Figura 1: Alternativa 1.**

Por otra parte, la segunda alternativa consta de una edificación igual al de la primera propuesta con la planta baja libre de módulos, dejando el resto de las plantas en voladizo, con la diferencia que la misma se caracteriza por poseer plantas libres en los entrepisos garantizando el máximo espacio libre lo que permite el desarrollo de los espacios sin inconvenientes.



**Figura 2: Alternativa 2.**

Ahora bien, una tercera configuración está conformada, igual que las dos anteriores, por un núcleo de concreto al cual están anclados los módulos, con la diferencia de que la planta baja no estaría libre de módulos, por lo que los demás pisos no quedarían en volado debido a que los módulos de la planta baja están conectados directamente a las fundaciones.

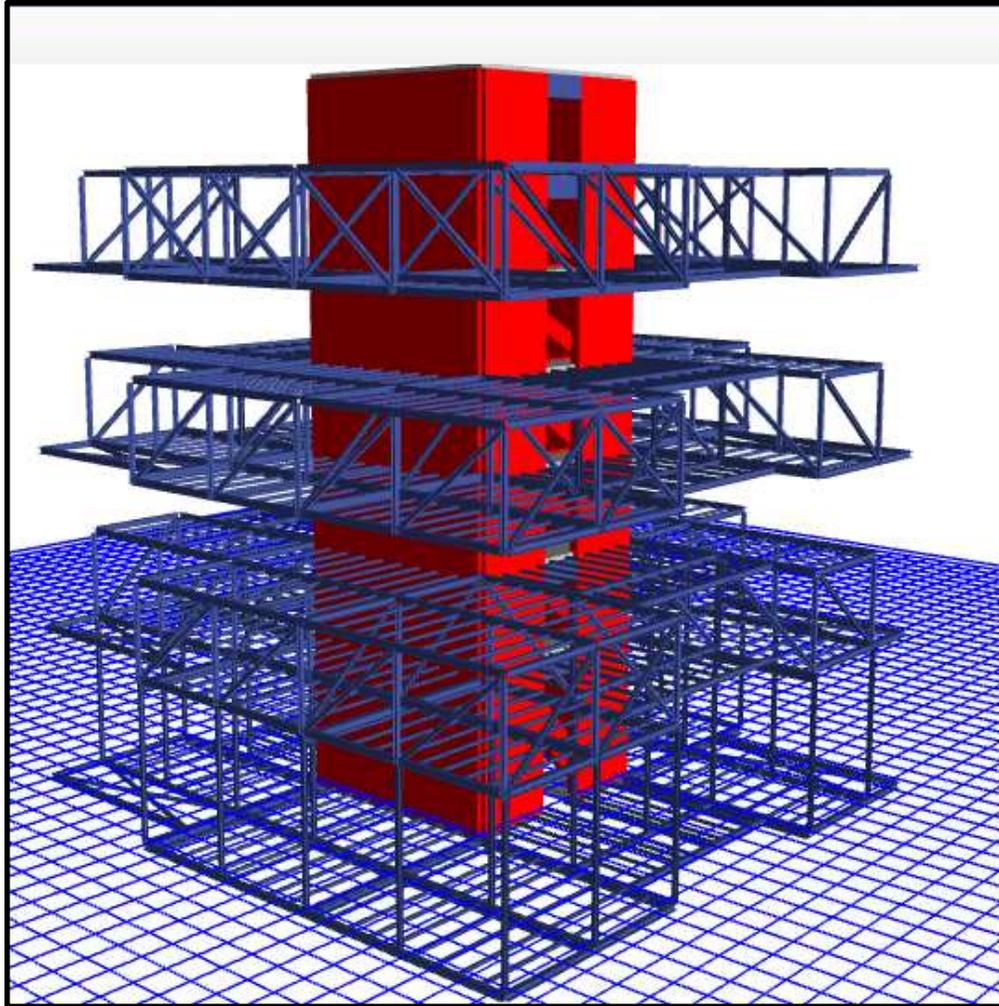


Figura 3: Alternativa 3.

#### 4.1.1 Descripción de los módulos

Los módulos en conjunto con el núcleo son las principales unidades de la estructura anteriormente planteada. Los mismos son pequeñas unidades de acero conformadas por:

- Plancha de acero, la cual cumple la función de la losa.
- Correas, elementos de soporte que se encargan de transmitir las cargas gravitacionales.
- Vigas Principales.
- Columnas.

- Diagonales.

Dicho modulo consta de una planta de 7,2m x 3,6m y una altura de 3m como se muestra en las siguientes figuras.

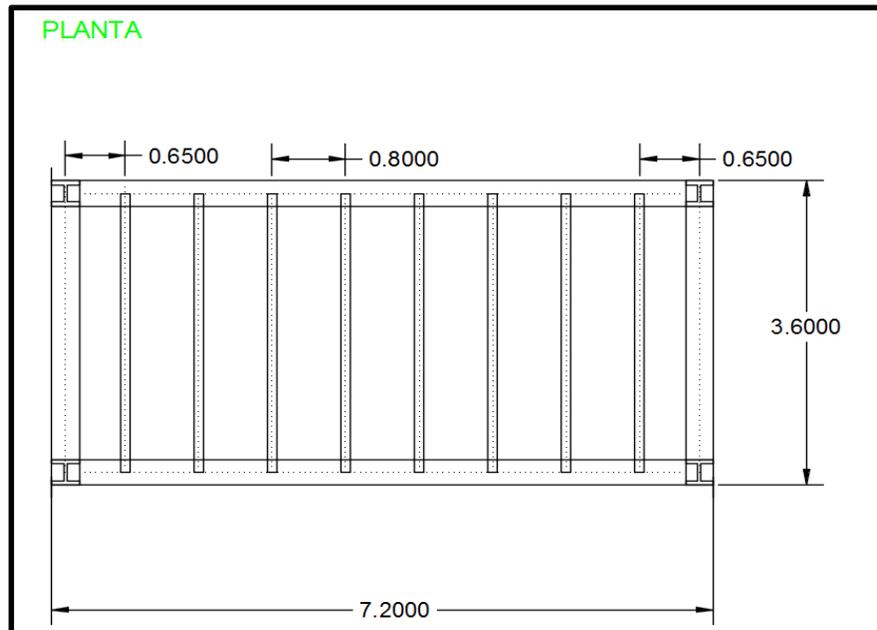


Figura 4: Plano de Planta Módulo.

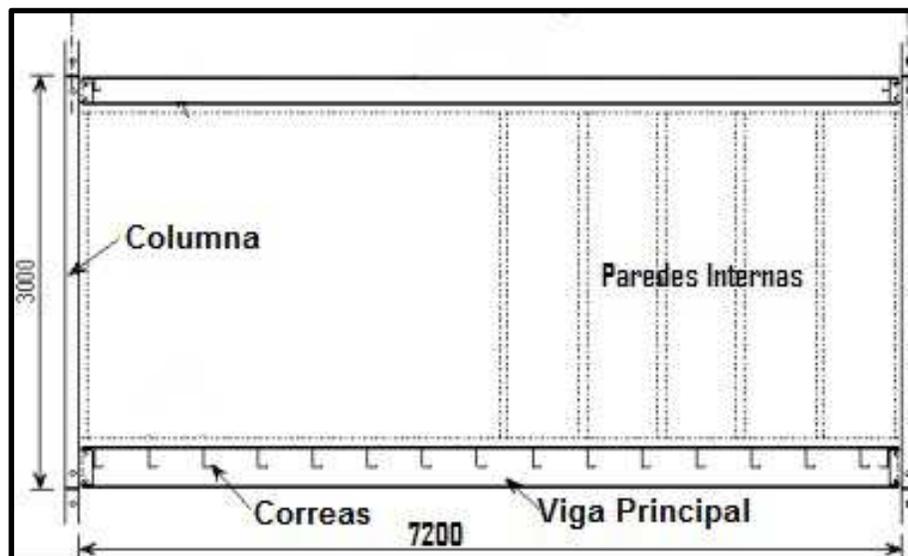
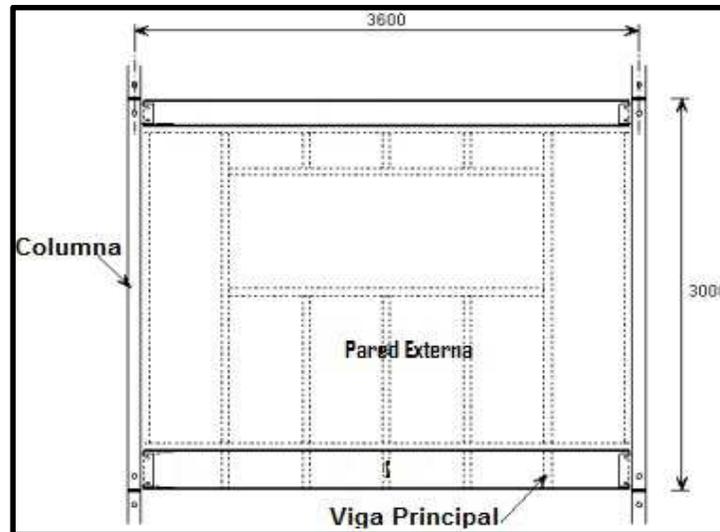


Figura 5: Corte Lateral Módulo.

Fuente: (steelconstruction - Modular construction).



**Figura 6: Corte Frontal Módulo.**

**Fuente:** (steelconstruction - Modular construction)

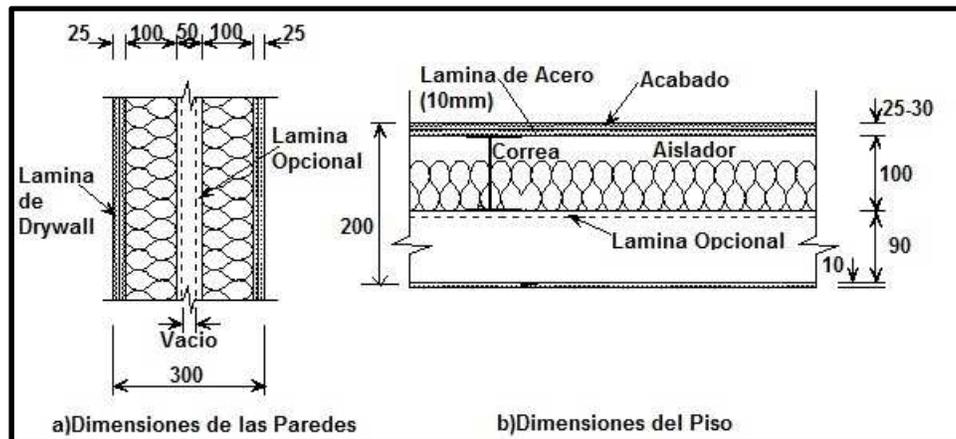
Dichas medidas fueron establecidas tomando en cuenta el traslado de la unidad, cumpliendo con los requisitos establecidos por la Norma Vial COVENIN 2402:1997.

| 5 REQUISITOS   |         |
|--|---------|
| 5.1 Dimensiones del vehículo   |         |
| Ancho máximo   | 2,60 m  |
| Altura máxima  | 4,10 m  |
| Longitud máxima en camión con dos ejes   | 11,50 m |
| Longitud máxima en camión con tres ejes  | 12,20 m |
| Longitud máxima para vehículos tipo Celia (Nodrizas)   | 21,00 m |
| Longitud máxima en combinaciones de camión tractor semirremolque. Ejemplos: (2S1), (2S2), (2S3), (3S1), (3S2), (3S3), etc. | 17,50 m |
| Longitud máxima para combinaciones camión remolque. Ejemplos: (2R2), (2R3), (3R2), (3R3), (3R4), etc.                      | 21,00 m |
| Longitud máxima para combinaciones de camión remolque balanceado. Ejemplos: (2B1), (2B2), (2B3), (3B1), (3B2), (3B3), etc. | 21,00 m |
| Longitud máxima de un remolque sin el timón  | 12,00 m |
| Longitud máxima de remolque balanceado sin el timón  | 10,00 m |
| Longitud máxima de un semirremolque  | 13,75 m |

**Figura 7: Dimensiones del vehículo.**

**Fuente:** COVENIN 2402:1997.

En otro orden de ideas, cada módulo cuenta con todos los servicios instalados de fábrica (agua, electricidad, gas, televisión, aire acondicionado, telefonía, entre otros), los mismos son instalados a través de los espacios libres ubicados en el piso y el techo de la estructura, a su vez estos incluyen aisladores térmicos y de sonidos, aparte de planchas, acabados y en el caso de las paredes drywall, como se muestra a continuación.



**Figura 8: Composición Paredes y pisos Módulo.**  
Fuente: (steelconstruction - Modular construction).

Adicionalmente a lo antes expuesto, los módulos son previamente amueblados y con todos los accesorios requeridos en una vivienda.

#### 4.3 Caso de Estudio de Edificación Modular Prefabricada

El caso a estudiar será la primera alternativa mencionada anteriormente, en la cual se tiene en los pisos 1, 3 y 5 una planta recta y en los pisos 2, 4 y 6 la planta oblicua. Se estudiara este caso debido a que representa más incógnitas que el resto de las opciones al momento de realizar el modelado de la estructura y el diseño de las conexiones.

La planta de los pisos rectos tienen un área de 368,3m<sup>2</sup>, mientras que los pisos oblicuos poseen un área de 368,52m<sup>2</sup>, y el área del muro es de 51,77m<sup>2</sup>,

totalizando 2572,85m<sup>2</sup> de construcción. La altura útil típica de cada nivel es de 3m exceptuando el nivel de planta baja donde es de 5m. Se muestra en las siguientes figuras la configuración de las plantas con los módulos rectos y oblicuos.

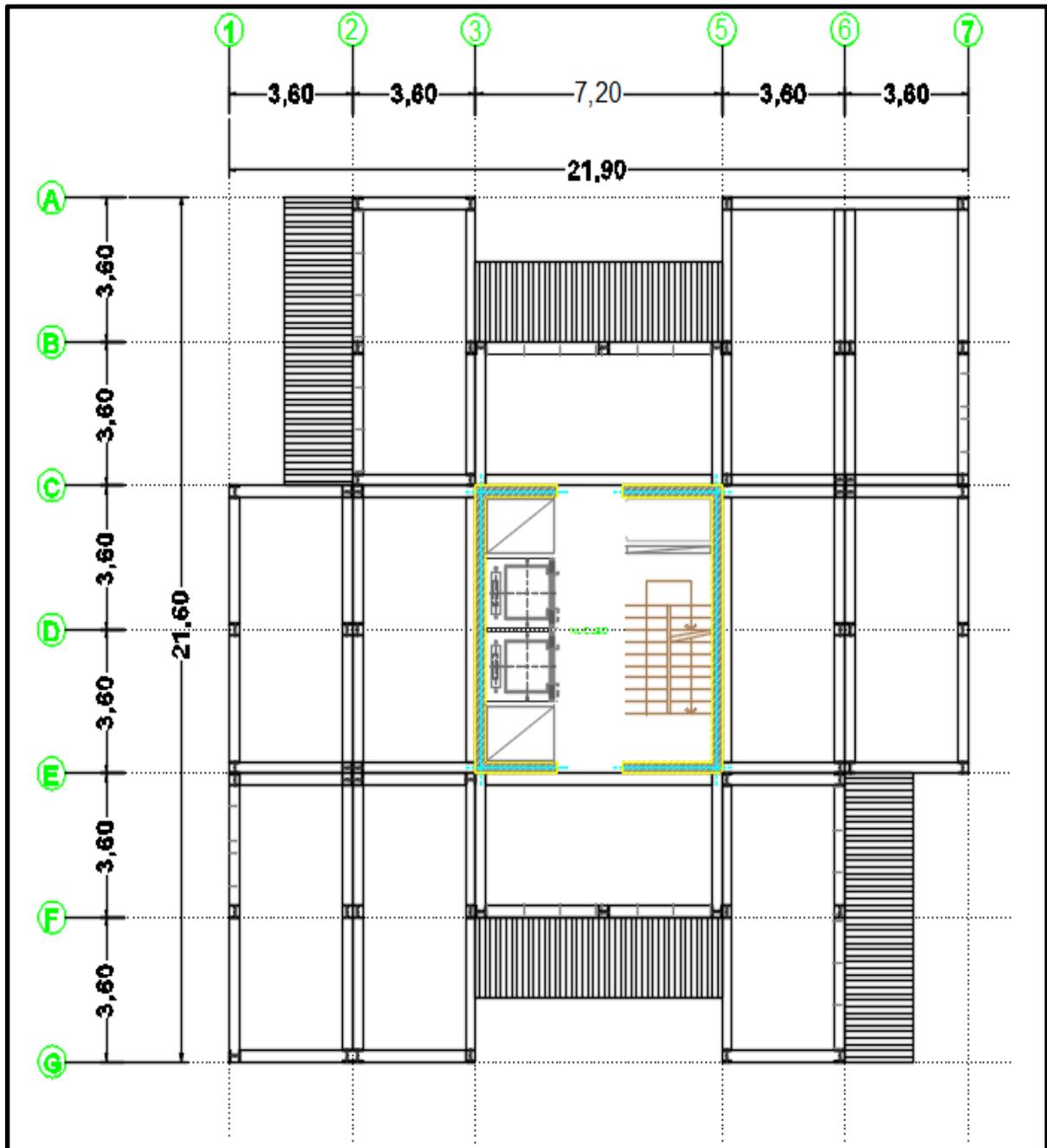


Figura 9: Plano de Planta Recta.

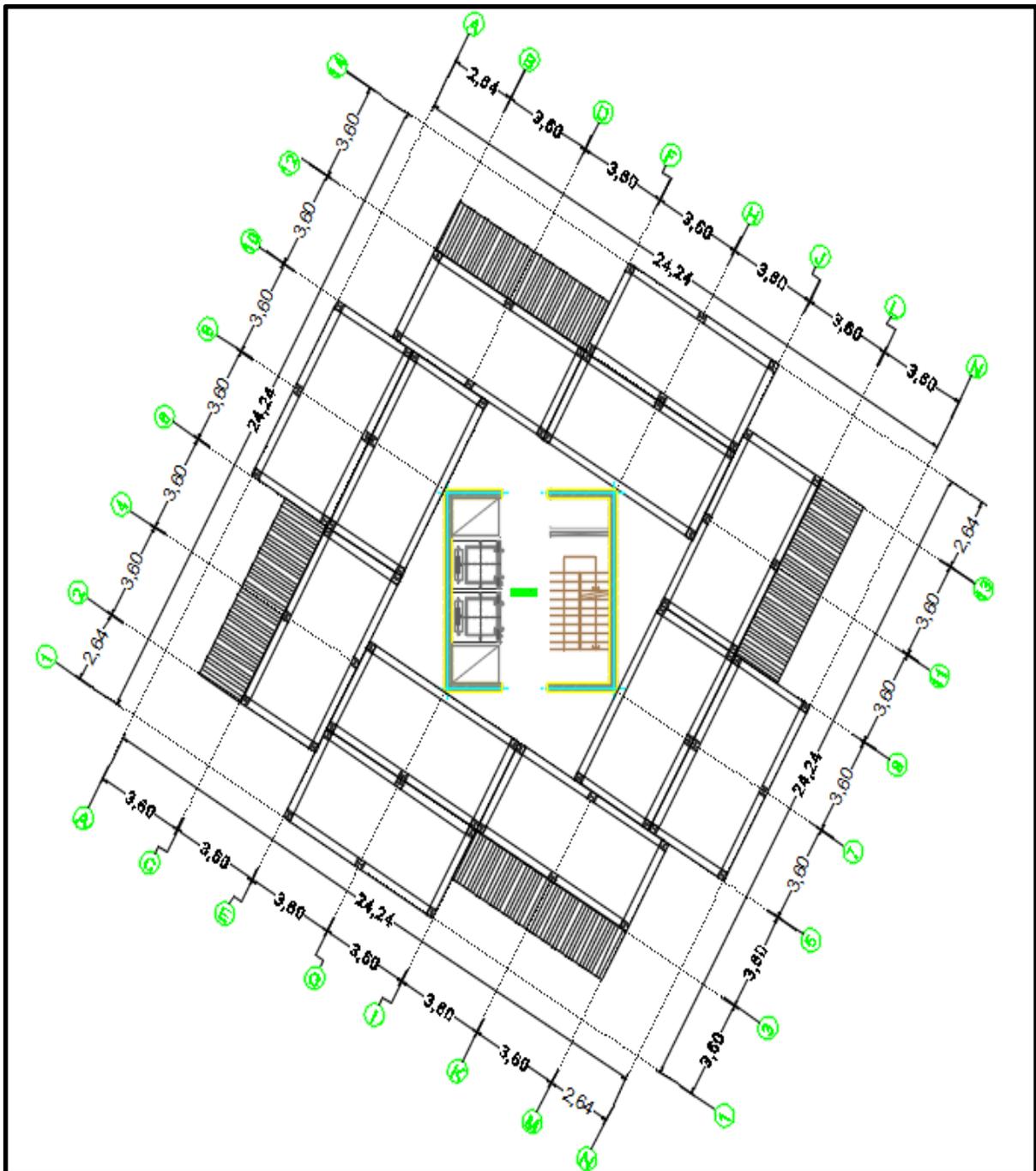


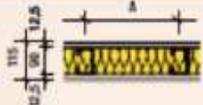
Figura 10: Plano de Planta Oblicua.

Asumiendo que la estructura está destinada a viviendas unifamiliares y multifamiliares, los casos de carga utilizados son los siguientes:

- **CP:** Suma del peso propio de la estructura, más carga permanente sobrepuesta de 190 Kgf/m<sup>2</sup> para simular la tabiquería.

En este cálculo del CP se considera por cada módulo una plancha de acero de 15mm de espesor la cual funciona como losa considerando el peso específico del acero como 7850Kgf/m<sup>2</sup> se tiene una carga de 118Kgf/m<sup>2</sup>, mas 50kgf/m<sup>2</sup> de acabado.

A su vez, se tiene que las paredes de los módulos están hechas de Drywall las cuales representan una carga de 22 Kgf/m<sup>2</sup> incluyendo aislantes de sonido y fuego.

| Paredes citadas na tabela 18 | Corte da parede e designação   | A = Distância entre montantes (mm) | Altura limite da parede (m) |       | Quantidade de chapas | Espessura das chapas (mm) | Isolamento acústico R <sub>w</sub> (dB) |      | Resistência ao fogo (minutos) |       | Peso da parede (kg/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|-------|----------------------|---------------------------|---|------|-------------------------------|-------|-------------------------------------|
|                              |  |                                    | Montantes                   |       |                      |                           | Isolante                                |      | Chapas                        |       |                                     |
|                              |  |                                    | Simples                     | Duplo |                      |                           | sem                                     | com  | ST ou RU                      | RF    |                                     |
| Itens A, C, D e F            | <br>115/90/A/MS/ES/1ST12,5+1ST12,5/BR/1LM50 | 600                                | 3,50                        | 4,15  | 2                    | 12,5                      | -                                       | 45dB | CF 30                         | CF 30 | 22                                  |
|                              |  | 400                                | 3,85                        | 4,60  |                      |                           |   |      |                               |       |                                     |

**Figura 11: Tabla de Características del Drywall.**  
Fuente: Associação Brasileira do Drywall.

- **CV:** Se utilizó una carga distribuida de 175 Kgf/m<sup>2</sup> en todos los pisos, y 300 Kgf/m<sup>2</sup> en la escalera. Para asignar estas cargas se siguió la norma COVENIN 2002-88.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Norma venezolana COVENIN. 2002 - 88. CRITERIOS Y ACCIONES MÍNIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES.

- **Sismo:** Caso de carga tipo Espectro de Respuesta tomando como cargas aplicadas las aceleraciones en  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $0.7U_z$ . Se utilizó combinación modal CQC y combinación direccional CQC3.

#### 4.3.1 Parámetros sismoresistentes

Para el análisis sismorresistente de la estructura se utilizó el software CSI ETABS, realizando un análisis dinámico con espectro de respuesta, evaluando las zonas sísmicas y tipos de suelos mencionados anteriormente en los objetivos.

Para la selección de la forma espectral y del factor de corrección  $\Phi$  se siguieron los parámetros establecidos por la tabla 5.1 de la norma COVENIN 1756-2001.

| Material  | Vsp (m/s) | H (m)          | Zonas Sísmicas 1 a 4 |        | Zonas Sísmicas 5 a 7 |        |
|---|-----------|----------------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|   |           |                | Forma Espectral      | $\Phi$ | Forma Espectral      | $\Phi$ |
| Roca sana/fracturada  | >500      | -              | S1                   | 0.85   | S1                   | 1.00   |
| Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos                   | >400      | <30            | S1                   | 0.85   | S1                   | 1.00   |
|   |           | 30-50          | S2                   | 0.80   | S2                   | 0.90   |
|   |           | >50            | S3                   | 0.70   | S2                   | 0.90   |
| Suelos duros o densos   | 250-400   | <15            | S1                   | 0.80   | S1                   | 1.00   |
|   |           | 15-50          | S2                   | 0.80   | S2                   | 0.90   |
|   |           | >50            | S3                   | 0.75   | S2                   | 0.90   |
| Suelos firmes/medio densos  | 170-250   | $\leq 50$      | S3                   | 0.70   | S2                   | 0.95   |
|   |           | >50            | S3 <sup>(a)</sup>    | 0.70   | S3                   | 0.75   |
| Suelos blandos/sueltos  | <170      | $\leq 15$      | S3                   | 0.70   | S2                   | 0.90   |
|   |           | >15            | S3 <sup>(a)</sup>    | 0.70   | S3                   | 0.80   |
| Suelos blandos o sueltos <sup>(b)</sup> intercalados con suelos más rígidos | -         | H <sub>1</sub> | S3 <sup>(c)</sup>    | 0.65   | S2                   | 0.70   |

Figura 12: Tabla 5.1 COVENIN 1756-2001

La norma establece que para zona sísmica 4 y roca blanda con una profundidad a la roca fresca menor a 30 metros, la forma espectral a evaluar es S1 con un  $\Phi$  igual a 0.85, mientras que la misma zona sísmica con suelos blandos con una profundidad a la roca fresca menor a 15 metros la forma espectral a evaluar es S3 con un  $\Phi$  igual a 0.70; por otra parte, para la zona sísmica 7 y los mismos materiales mencionados anteriormente las formas espectrales a evaluar serían S1 con un  $\Phi$  igual a 1, y S2 con un  $\Phi$  igual a 0.90 respectivamente.

Ahora bien, el único elemento sismorresistente de la estructura es el núcleo al cual están anclados los módulos, el cual debe ser capaz de soportar la totalidad de las cargas permanentes y variables, mientras que los módulos únicamente reciben las cargas gravitacionales y las transmitirán al muro mediante las conexiones. Debido a lo antes expuesto, el sistema a evaluar se encuentra dentro de los parámetros de una edificación tipo III según lo establecido en la norma COVENIN 1756-2001<sup>16</sup>, y se utilizara el factor de reducción máximo de  $R=4$  establecido por dicha norma para edificaciones de este tipo con un ND3, como consecuencia a que el único elemento sismorresistente es el núcleo de concreto reforzado, compuesto por elementos de borde y pantallas sin presentar irregularidades como se muestra en la figura 13.

---

<sup>16</sup> Norma venezolana COVENIN 1756-2001. Artículo 6.4 Factor de Reducción de Respuesta.

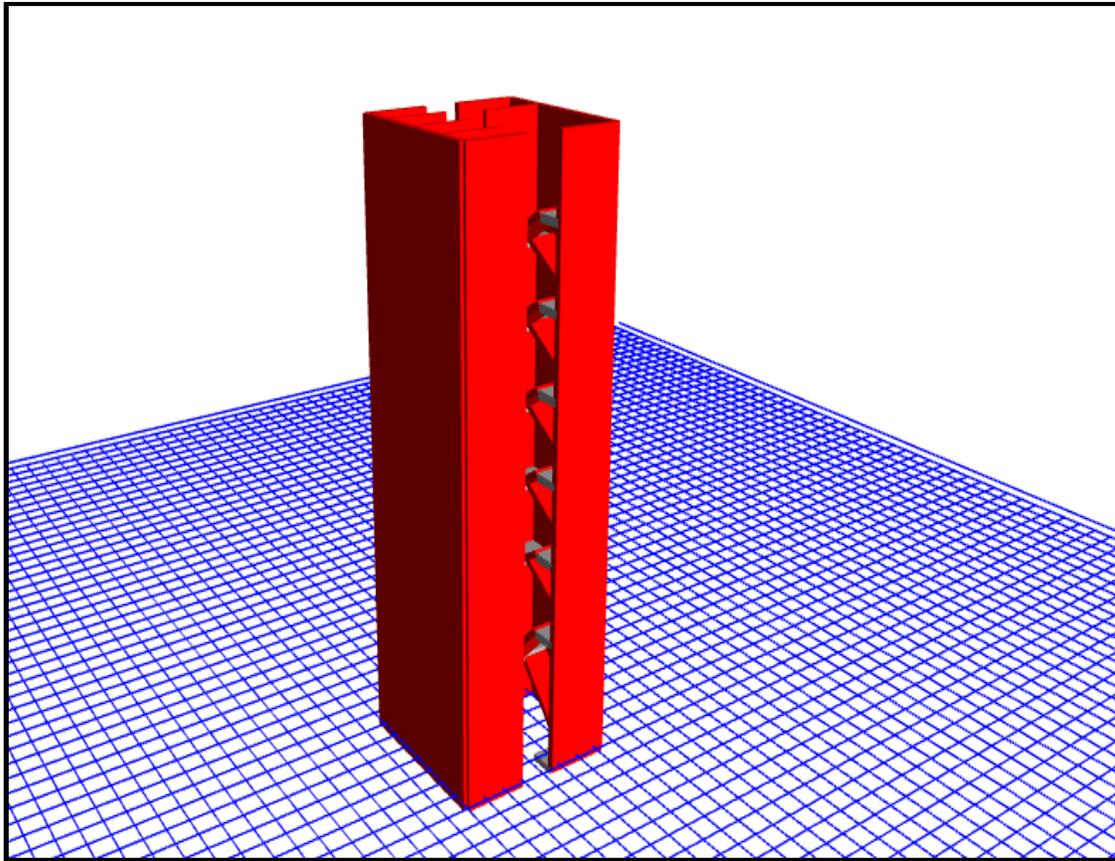


Figura 13: Núcleo de Concreto Reforzado.

Tabla N°2: Parámetros Sismorresistentes

| Zona Sísmica | Forma Espectral | Factor de Corrección $\Phi$ | Factor de Reducción R | Tipo de Edificación | Factor de Importancia $\alpha$ |
|--------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|
| 4            | S1              | 0,90                        | 4                     | B2                  | 1,00                           |
|              | S3              | 0,70                        | 4                     | B2                  | 1,00                           |
| 7            | S1              | 1,00                        | 4                     | B2                  | 1,00                           |
|              | S2              | 0,90                        | 4                     | B2                  | 1,00                           |

#### 4.3.1.2 Espectros de Diseño

La norma COVENIN 1756-2001 establece en el aparte 7.2 que las ordenadas  $A_d$  de los espectros de diseño están definidas en función de su periodo  $T$  de la forma siguiente:

$$T < T^+ \quad Ad = \frac{\alpha\Phi A_o \left[ 1 + \frac{T}{T^+} (\beta - 1) \right]}{1 + \frac{T^C}{T^+} (R - 1)}$$

$$T^+ \leq T \leq T^* \quad Ad = \frac{\alpha\Phi\beta A_o}{R}$$

$$T > T^* \quad Ad = \frac{\alpha\Phi\beta A_o}{R} \left( \frac{T^*}{T} \right)^P$$

Donde,

Ad = Ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de gravedad.

$\alpha$  = Factor de importancia (Tabla 6.1 COVENIN 1756-2001).

Ao = Coeficiente de aceleración horizontal (Tabla 4.1 COVENIN 1756-2001).

$\Phi$  = Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal (Tabla 5.1 COVENIN 1756-2001).

$\beta$  = Factor de magnificación promedio (Tabla 7.1 COVENIN 1756-2001).

To = 0,25T\* Período a partir del cual los espectros normalizados tienen un valor constante (seg).

T\*= Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante.

T+ ≥ To período característico de variación de respuesta dúctil (seg) (Tabla 7.2 COVENIN 1756-2001).

$$C = \sqrt[4]{R/\beta}$$

R = Factor de reducción de respuesta.

P = Exponente que define la rama descendente del espectro.

Ahora bien, para zona sísmica 4 y forma espectral S1 se obtuvo el espectro de diseño mostrado en la figura 14.

Tabla N°3: Espectro de Diseño Zona 4 S1

| S | R | $\Phi$ | A | $\beta$ | Ao   | T*  | T+  | C     | $\rho$ |
|---|---|--------|---|---------|------|-----|-----|-------|--------|
| 1 | 4 | 0,9    | 1 | 2,4     | 0,25 | 0,4 | 0,3 | 1,136 | 1      |

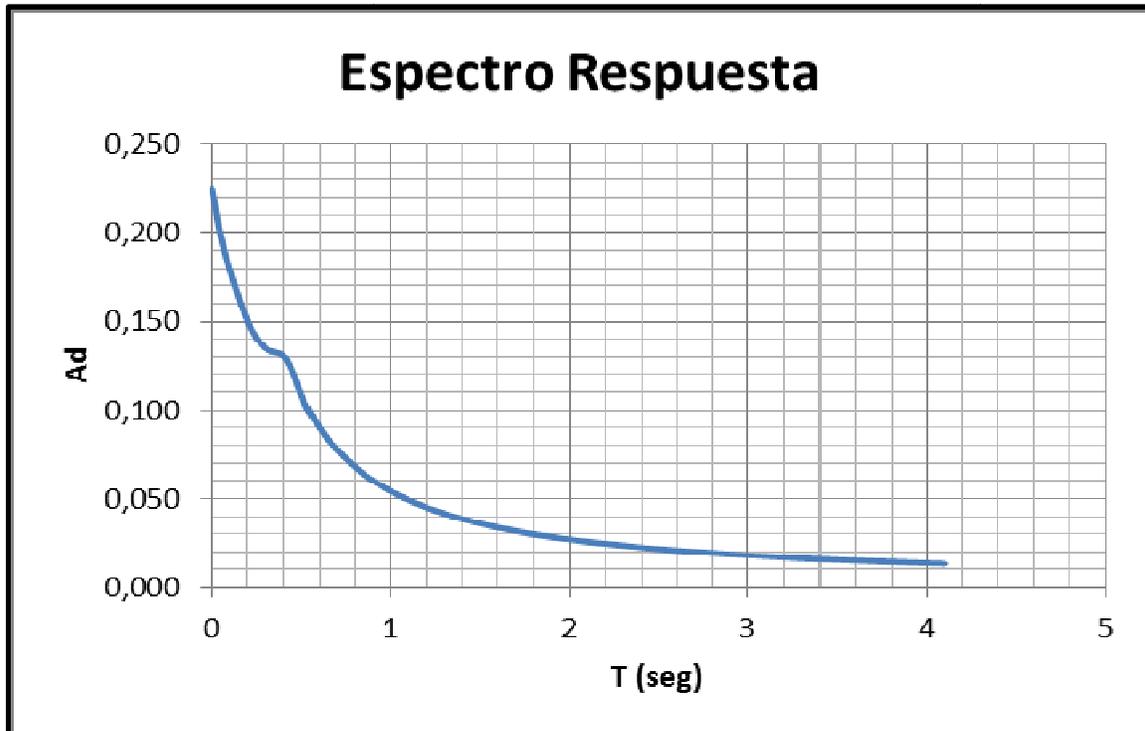


Figura 14: Espectro de Diseño Zona 4 S1.

Para zona sísmica 4 y forma espectral S3 se obtuvo el espectro de diseño mostrado en la figura 15.

Tabla N°4: **Espectro de Diseño Zona 4 S3**

| S | R | $\Phi$ | A | $\beta$ | Ao   | T* | T+  | c     | $\rho$ |
|---|---|--------|---|---------|------|----|-----|-------|--------|
| 3 | 4 | 0,7    | 1 | 2,8     | 0,25 | 1  | 0,3 | 1,093 | 1      |

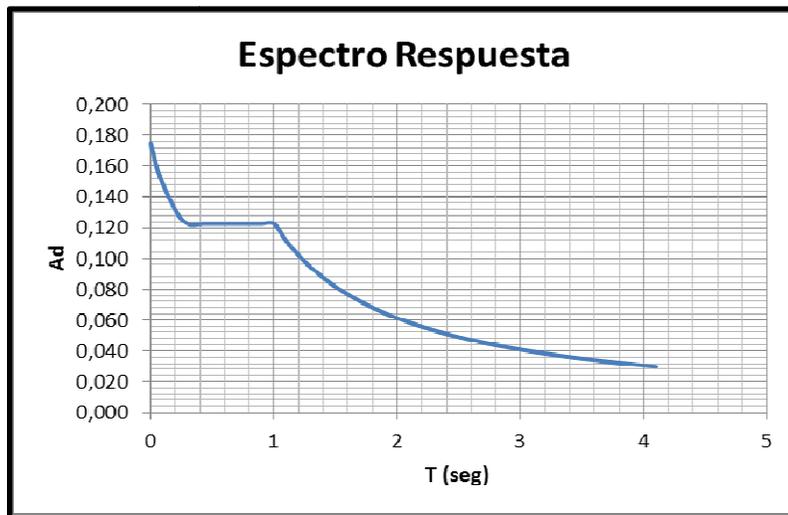


Figura 15: **Espectro de Diseño Zona 4 S3.**

Para zona sísmica 7 y forma espectral S1 se obtuvo el espectro de diseño mostrado en la figura 16.

Tabla N°5: **Espectro de Diseño Zona 7 S1**

| S | R | $\Phi$ | A | $\beta$ | Ao  | T*  | T+  | c     | $\rho$ |
|---|---|--------|---|---------|-----|-----|-----|-------|--------|
| 1 | 4 | 1      | 1 | 2,4     | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 1,136 | 1      |

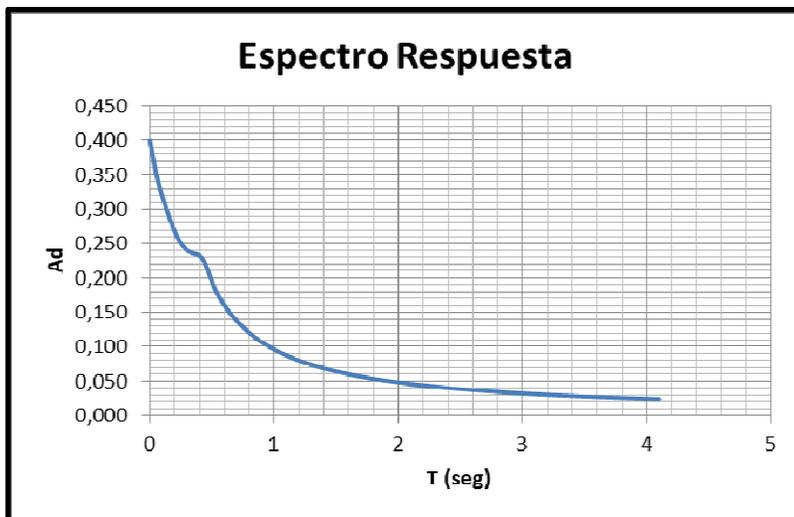


Figura 16: Espectro de Diseño Zona 7 S1.

Para zona sísmica 7 y forma espectral S2 se obtuvo el espectro de diseño mostrado en la figura 17.

Tabla N°6: Espectro de Diseño Zona 7 S2

| S | R | $\Phi$ | A | $\beta$ | Ao  | T*  | T+  | c     | P |
|---|---|--------|---|---------|-----|-----|-----|-------|---|
| 2 | 4 | 0,9    | 1 | 2,6     | 0,4 | 0,7 | 0,3 | 1,114 | 1 |

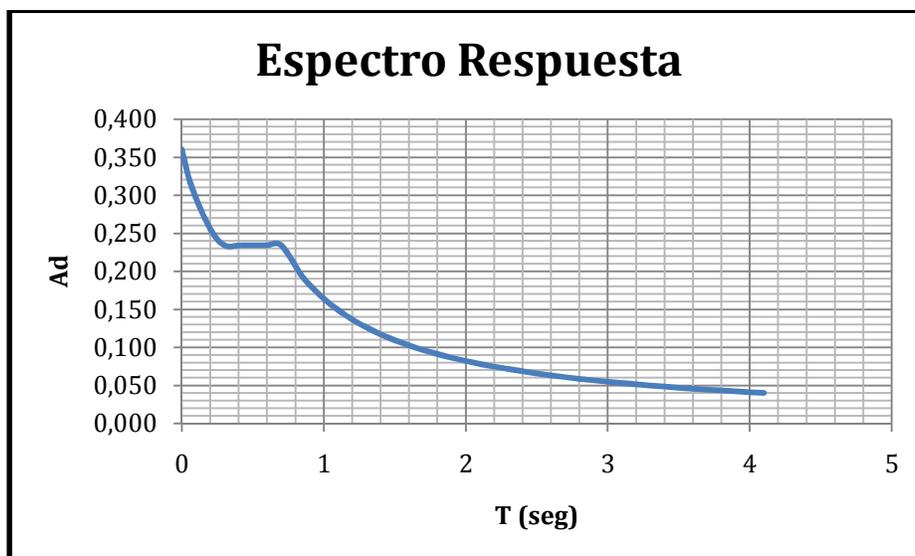


Figura 17: Espectro de Diseño Zona 7 S2.

### 4.3.2 Análisis Dinámico

Para llevar a cabo el análisis estructural, se modeló el edificio en ETABS, siguiendo los requerimientos establecidos por la Norma Covenin 1756-2001<sup>17</sup> en el Método de Análisis Dinámico Espacial de Superposición Modal con Tres Grados de Libertad por Nivel (Sección 9.6), este método toma en cuenta el acoplamiento de las vibraciones traslacionales y torsionales de la edificación, al cual se le incluyen los efectos de la componente rotacional del terreno y de las incertidumbres en la ubicación de centros de masa y rigidez a los resultados del análisis dinámico con un coeficiente de amortiguación del 0.06 (6%) de la mayor dimensión horizontal de la edificación, a las solicitaciones más desfavorables que resulten de aplicar estáticamente sobre la edificación y se consideraran tres grados de libertad para cada nivel. El procedimiento empleado se presenta a continuación. Para esto se realizó un análisis dinámico en el programa ETABS utilizando un caso de carga sísmico dependiente del espectro de respuesta tal como se indicó en la sección anterior. Los criterios con los que se evaluó la estructura luego del análisis para comprobar la funcionalidad de su diseño fueron los siguientes:

- Control de Corte Basal
- Control de Deriva
- Control de Flecha
- Factores de Participación de Masas

#### 4.3.2.1 Control de corte basal

Es de vital importancia chequear que el corte basal resultado del análisis sea mayor que los controles presentados en la norma COVENIN 1756-2001, ya que en caso de ser menor se deberá aumentar el corte en la estructura.

---

<sup>17</sup> Norma venezolana Covenin 1756-2001. Metodo de análisis dinamico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel.

Las fuerzas cortantes y el momento torsor adicional obtenido del Análisis Dinámico Espacial de Superposición Modal con Tres Grados de Libertad por Nivel a través del software ETABS son las siguientes para cada caso sísmico:

Tabla N°7: **Corte basal**

| Load<br>Case/Combo | FX        | FY        |
|--------------------|-----------|-----------|
|                    | kgf       | kgf       |
| Zona4 S1           | 156977,77 | 149717,5  |
| Zona4 S3           | 169996,53 | 169978,2  |
| Zona7 S1           | 279071,59 | 266164,45 |
| Zona7 S2           | 270540,25 | 270512,61 |

La norma establece en el aparte 7.1 que el coeficiente sísmico  $V_o/W$  no debe ser menor de  $(\alpha A_o)/R$ , por lo tanto el valor mínimo establecido del corte basal viene dado por la siguiente formula:

$$V_o \geq \frac{\alpha \times A_o \times w}{R}$$

En esta fórmula se tiene:

$\alpha$  (Tabla 6.1 COVENIN 1756-2001) = 1, para un edificio del tipo B2

$W$  = peso de la edificación en la cual se incluye la carga permanente más el 50% de la carga variable = 1610665,7Kgf, obtenido del software ETABS

$R = 4$

$A_o$  (Tabla 4.1 COVENIN 1756-2001) = 0,25 y 0,4 para una zona sísmica 4 y 7 respectivamente.

Los resultados obtenidos del corte basal mínimo son los siguientes para cada caso:

Tabla N° 8: Control Corte Basal Aparte 7.1

| Zona Sísmica | Forma Espectral | $\alpha$ | Ao   | R | W (Kgf)   | Vomin (Kgf) |
|--------------|-----------------|----------|------|---|-----------|-------------|
| 4            | S1              | 1        | 0,25 | 4 | 1610665,7 | 100666,6    |
|              | S3              | 1        | 0,25 | 4 | 1610665,7 | 100666,6    |
| 7            | S1              | 1        | 0,4  | 4 | 1610665,7 | 161066,6    |
|              | S2              | 1        | 0,4  | 4 | 1610665,7 | 161066,6    |

Como se puede observar en la tabla N°8, se cumple con el corte basal mínimo establecido por la norma en el aparte 7.1 para los distintos espectros de respuesta analizados.

Posteriormente, la norma establece que el corte basal deducido de la combinación modal deberá compararse con el calculado según la sección 9.3.1 con un periodo  $T = 1,6T_a$ , el cual se denota en este caso como  $V_o^*$

El aparte 9.3.1 establece que la fuerza cortante basal  $V_o^*$  en cada dirección de análisis, se determinara de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_o^* = \mu \times A_d \times w$$

Siendo,

$A_d$  = aceleración espectral correspondiente al periodo  $T$ .

$W$  = peso total de la edificación por encima del nivel de base.

$\mu$  = mayor valor de las fórmulas que se muestran:

$$\mu = 1.4 \times \frac{(N+9)}{(2N+12)}$$

$$\mu = 0.8 + \frac{1}{20} x \left( \frac{Ta}{T} - 1 \right)$$

Donde,

$N$  = Numero de niveles, en este caso son 7 niveles.

$T$  = periodo fundamental =  $1,6Ta$ .

$T^*$  = periodo dado en la tabla 7.1 COVENIN 1756-2001.

$Ta = 0,05hn^{0,75}$

$hn$  = Altura de la edificación medida desde el último nivel, hasta el primer nivel cuyos desplazamientos estén restringidos total o parcialmente.

$hn = 23m$  en este caso

Ahora bien, para zona sísmica 4 y forma espectral S1 se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla N°9.

Tabla N°9: **Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 4 S1**

| Zona 4      |          |         |          |         |         |       |       |           |
|-------------|----------|---------|----------|---------|---------|-------|-------|-----------|
| S1          |          |         |          |         |         |       |       |           |
| W (Kgf)     | Ta (seg) | T (seg) | T* (seg) | $\mu_1$ | $\mu_2$ | $\mu$ | Ad    | Vo* (Kgf) |
| 1610665,730 | 0,525    | 0,840   | 0,400    | 0,862   | 0,816   | 0,862 | 0,064 | 89184,213 |

En este caso se cumple con el corte basal mínimo en todas las direcciones.

Para zona sísmica 4 y forma espectral S3 se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N°10: **Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 4 S3**

| Zona 4      |          |         |          |         |         |       |       |            |
|-------------|----------|---------|----------|---------|---------|-------|-------|------------|
| S3          |          |         |          |         |         |       |       |            |
| W (Kgf)     | Ta (seg) | T (seg) | T* (seg) | $\mu_1$ | $\mu_2$ | $\mu$ | Ad    | Vo* (Kgf)  |
| 1610665,730 | 0,525    | 0,840   | 1,000    | 0,862   | 0,776   | 0,862 | 0,123 | 169987,183 |

Para este caso la fuerza cortante basal en ambas direcciones es menor a la establecida en la norma, por lo que se deben multiplicar por el factor  $Vo^*/Vo$ , mostrados en la tabla N°11.

Tabla N°11: **Factores de Mayoración de Corte Basal Aparte 9.3.1 Zona 4 S1**

| Zona 4     |           |            |           |            |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| S3         |           |            |           |            |
| Vo* (Kgf)  | Vox (Kgf) | Vo*/Vo     | Voy (Kgf) | Vo*/Vo     |
| 169987,183 | 139535,67 | 1,21823461 | 131366,32 | 1,29399364 |

Para zona sísmica 7 y forma espectral S1 se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N°12: **Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 7 S1**

| Zona 7      |          |         |          |         |         |       |       |            |
|-------------|----------|---------|----------|---------|---------|-------|-------|------------|
| S1          |          |         |          |         |         |       |       |            |
| W (Kgf)     | Ta (seg) | T (seg) | T* (seg) | $\mu_1$ | $\mu_2$ | $\mu$ | Ad    | Vo* (Kgf)  |
| 1610665,730 | 0,525    | 0,840   | 1,000    | 0,862   | 0,776   | 0,862 | 0,114 | 158549,712 |

En este caso se cumple con el corte basal mínimo en todas las direcciones.

Para zona sísmica 7 y forma espectral S1 se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N°13: **Control de corte basal Aparte 9.3.1 Zona 7 S2**

| Zona 7      |          |         |          |         |         |       |       |            |
|-------------|----------|---------|----------|---------|---------|-------|-------|------------|
| S2          |          |         |          |         |         |       |       |            |
| W (Kgf)     | Ta (seg) | T (seg) | T* (seg) | $\mu_1$ | $\mu_2$ | $\mu$ | Ad    | Vo* (Kgf)  |
| 1610665,730 | 0,525    | 0,840   | 0,700    | 0,862   | 0,788   | 0,862 | 0,195 | 270525,446 |

Para este caso la fuerza cortante basal en ambas direcciones es menor a la establecida en la norma, por lo que se deben multiplicar por el factor Vo\*/Vo, mostrados en la tabla N°14.

Tabla N°14: Factores de Mayoración de Corte Basal Aparte 9.3.1 Zona 7 S2

| Zona 7     |           |            |           |            |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| S2         |           |            |           |            |
| Vo* (Kgf)  | Vox (Kgf) | Vo*/Vo     | Voy (Kgf) | Vo*/Vo     |
| 270525,446 | 269116,16 | 1,00523672 | 254913,27 | 1,06124505 |

Los resultados finales de la fuerza cortante basal luego de multiplicar los valores de diseño por los factores de mayoración en el software ETABS son los siguientes.

Tabla N°15: Corte Basal Mayorado.

| Load Case/Combo | FX kgf    | FY Kgf    |
|-----------------|-----------|-----------|
| Zona 4 S1       | 156977,77 | 149717,5  |
| Zona 7 S1       | 279071,59 | 266164,45 |
| Zona 4 S3       | 169996,66 | 170114,62 |
| Zona 7 S2       | 270542,57 | 272919,75 |

En las siguientes figuras se presentan las fuerzas cortantes en cada piso obtenidas del análisis realizado en el software ETABS para los casos de carga de Sismo. Se puede observar como las fuerzas cortantes aumentan desde el tope del edificio hasta el nivel de Planta Baja (Base).

Tabla N°16: Fuerza de Cada Piso Zona 4 S1.

| Story  | Load Case/Combo | VX Kgf    | VY kgf    |
|--------|-----------------|-----------|-----------|
| Story7 | Zona 4 S1       | 16589,48  | 18313,8   |
| Story6 | Zona 4 S1       | 54977,4   | 58594,14  |
| Story5 | Zona 4 S1       | 86873,48  | 90392,72  |
| Story4 | Zona 4 S1       | 113729,73 | 116248,1  |
| Story3 | Zona 4 S1       | 132762,05 | 133782,9  |
| Story2 | Zona 4 S1       | 145734,64 | 145412,66 |
| Story1 | Zona 4 S1       | 156855,42 | 149697,05 |

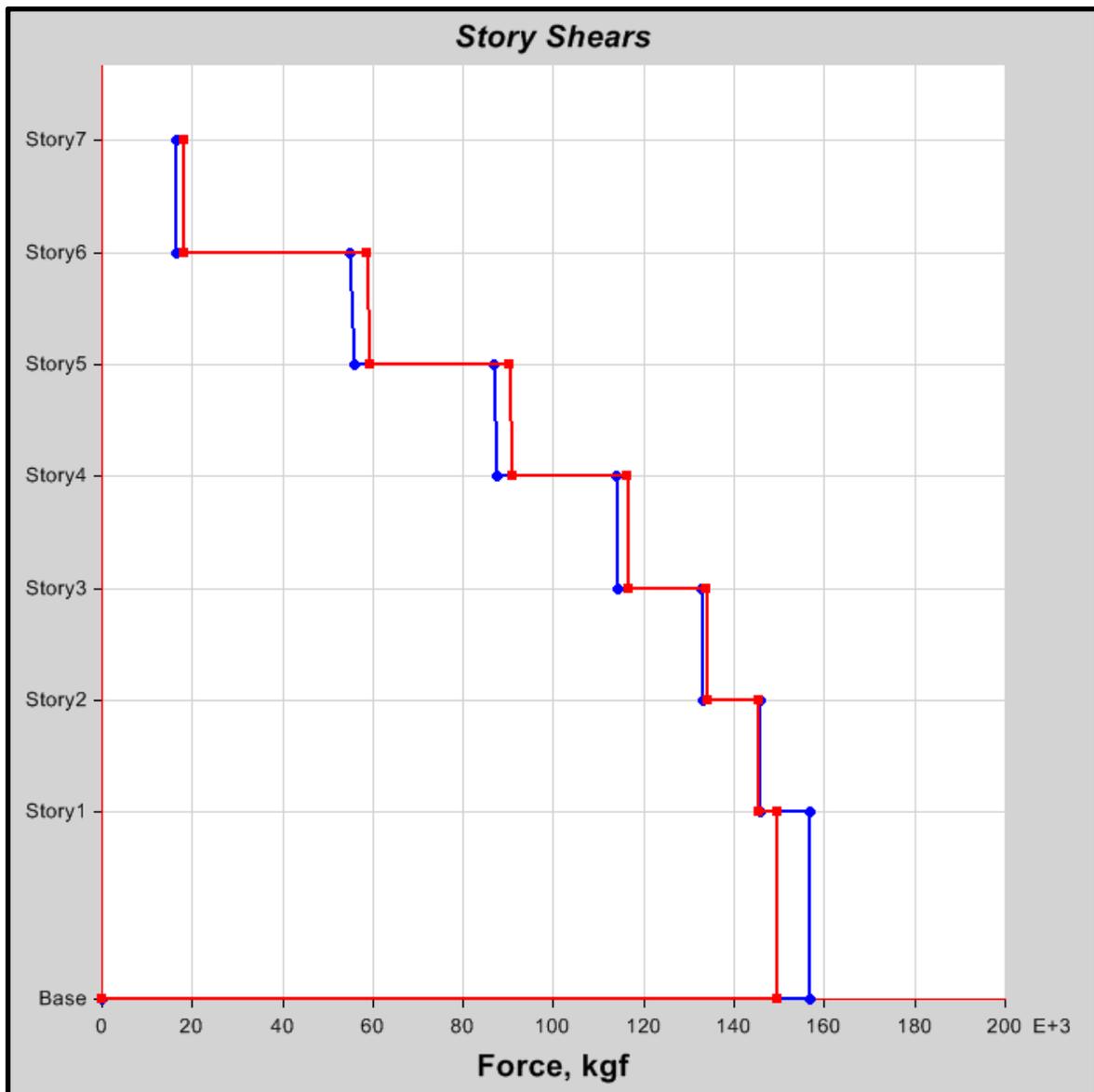


Figura 18: Fuerzas de corte Zona 4, Forma S1.

Tabla N°17: Fuerza de Cada Piso Zona 4 S3.

| Story  | Load Case/Combo | VX        | VY        |
|--------|-----------------|-----------|-----------|
|        |                 | kgf       | kgf       |
| Story7 | Zona 4 S3       | 17949,41  | 20803,52  |
| Story6 | Zona 4 S3       | 59505,19  | 66568,64  |
| Story5 | Zona 4 S3       | 94027,09  | 102687,37 |
| Story4 | Zona 4 S3       | 123092,97 | 132052,24 |
| Story3 | Zona 4 S3       | 143692,57 | 151966,44 |
| Story2 | Zona 4 S3       | 157736,26 | 165176,22 |
| Story1 | Zona 4 S3       | 169864,2  | 170091,39 |

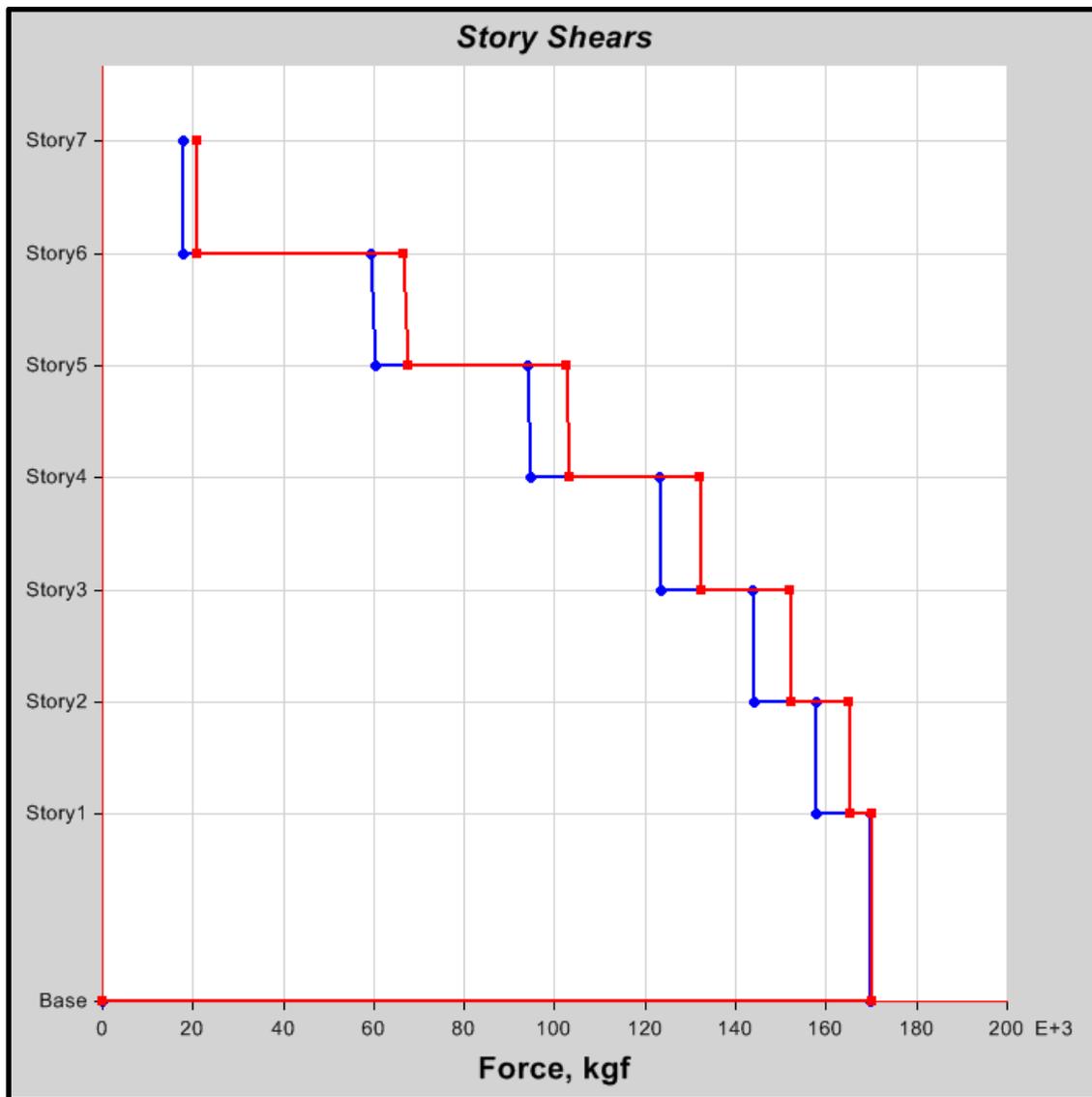


Figura 19: Fuerzas de corte Zona 4, Forma S3.

Tabla N°18: Fuerza de Cada Piso Zona 7 S1.

| Story  | Load Case/Combo | VX        | VY        |
|--------|-----------------|-----------|-----------|
|        |                 | kgf       | kgf       |
| Story7 | Zona 7 S1       | 29492,41  | 32557,86  |
| Story6 | Zona 7 S1       | 97737,59  | 104167,37 |
| Story5 | Zona 7 S1       | 154441,75 | 160698,17 |
| Story4 | Zona 7 S1       | 202186,2  | 206663,29 |
| Story3 | Zona 7 S1       | 236021,42 | 237836,28 |
| Story2 | Zona 7 S1       | 259083,8  | 258511,4  |
| Story1 | Zona 7 S1       | 278854,08 | 266128,09 |

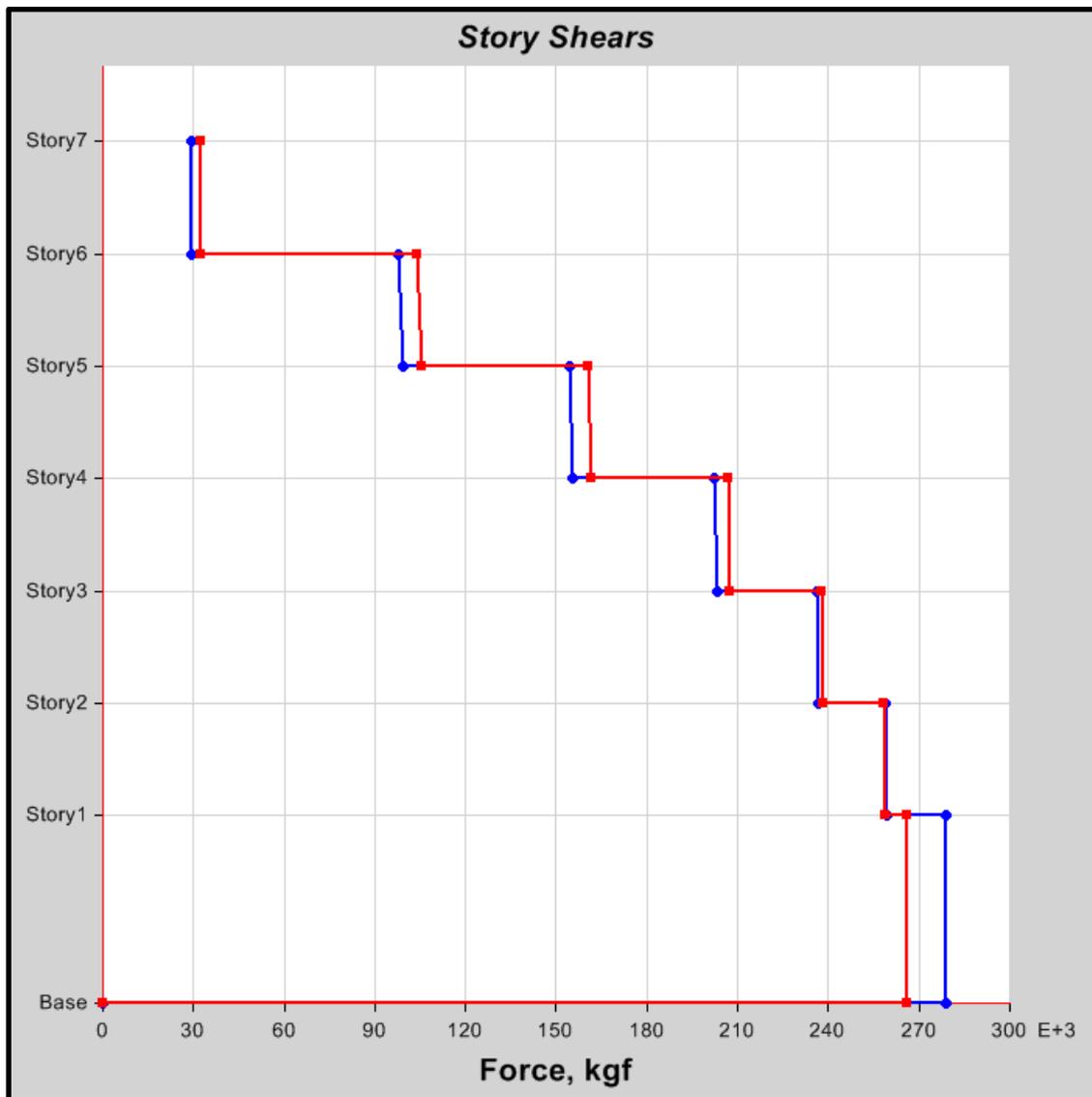


Figura 20: Fuerzas de corte Zona 7, Forma S1.

Tabla N°19: Fuerza de Cada Piso Zona 7 S2.

| Story  | Load Case/Combo | VX        | VY        |
|--------|-----------------|-----------|-----------|
|        |                 | kgf       | kgf       |
| Story7 | Zona 7 S2       | 28580,36  | 33379,5   |
| Story6 | Zona 7 S2       | 94723,72  | 106806,08 |
| Story5 | Zona 7 S2       | 149678,04 | 164762,31 |
| Story4 | Zona 7 S2       | 195948,66 | 211883,47 |
| Story3 | Zona 7 S2       | 228740,74 | 243839,78 |
| Story2 | Zona 7 S2       | 251094,47 | 265035,93 |
| Story1 | Zona 7 S2       | 270331,72 | 272882,48 |

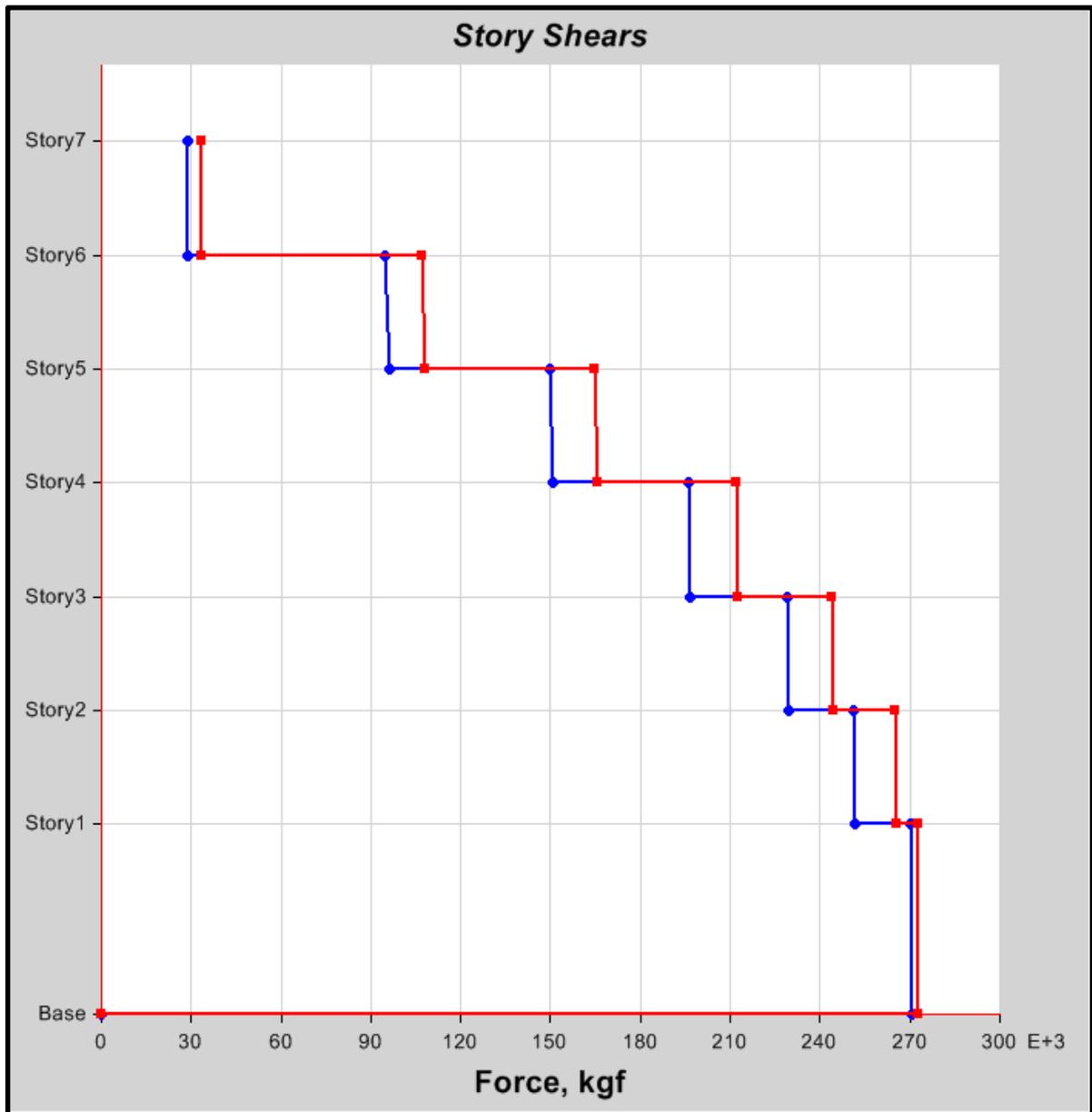


Figura 21: Fuerzas de corte Zona 7, Forma S2.

#### 4.3.2.2 Control de deriva

La estructura no presento problemas por deriva, debido a que cumple con los valores máximos establecidos por la norma COVENIN 1756-2001 en el capítulo 10.

El valor máximo obtenido viene dado por la siguiente formula:

$$\Delta_i = 0,8 * R * \Delta_{ei}$$

En esta fórmula se tiene:

$\Delta_i$  = Desplazamiento lateral total Del nivel i.

R = 4, factor de reducción dado en el artículo 6.4.

$\Delta_{ei}$  = Desplazamiento lateral del nivel i calculado para las fuerzas de diseño.

$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla N°20: **Control de Deriva**

| Dirección | $\Delta_{eimax}$ | $\delta_{imax}$ | Limite (Tabla 10.1) |
|-----------|------------------|-----------------|---------------------|
| X         | 0,0023           | 0,007232        | 0.018               |
| Y         | 0,0020           | 0,006422        | 0.018               |

A continuación en la figura 22 se presenta una imagen de las derivas elásticas absolutas para el caso de carga del sismo en Zona 7 y forma espectral S1, que produjo los mayores valores.

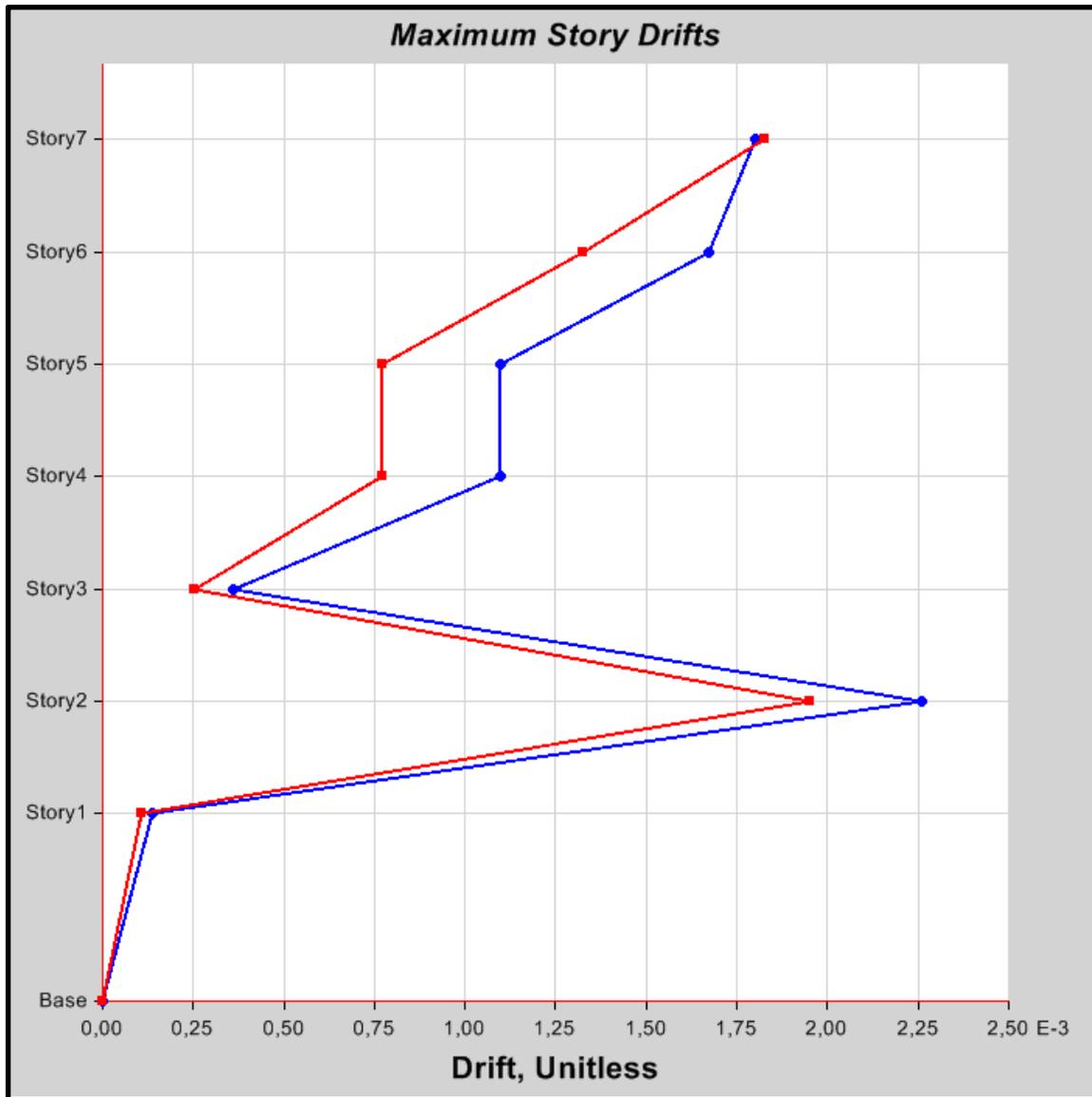


Figura 22: Derivas Zona 7, Forma S1.

#### 4.3.2.3 Control de Flecha

La norma COVENIN 1618-1998 establece en la tabla C-8.1, que la flecha máxima recomendada debe ser de  $L/360$ .

Debido a que toda la estructura de acero se encuentra en volado se consideraran las cargas permanentes y variables más el sismo. La flecha máxima obtenida por dichas cargas es de 3,7 cm para una viga de 10,2 m de

longitud, por lo que la máxima recomendada es de 2,8 cm, menor que la obtenida, pero en el caso en el que se toma en cuenta el sismo se puede aceptar una flecha 30% mayor a la establecida por la norma, lo que permite una flecha máxima de 3,7 cm, por lo tanto la flecha máxima obtenida es admisible.

#### 4.3.2.4 Factores de Participación de Masas

Una vez realizado el análisis se observó que la participación de masas era bastante inferior al valor de 90% requerido por la norma. Esto se debe a que los módulos representan una gran cantidad de acero en la estructura conectada entre si restringiendo sus desplazamientos, por lo que dicha masa que no se identificaba con ninguno de los modos de vibración presentes. Sin embargo, aumentando el número de modos de 12 a 2000, se obtuvo participación de masas superior al 90%.

Se presenta en la tabla N°21 los factores de participación de masas totales así como los de los 6 primeros modos de vibración con sus respectivos periodos.

Tabla N°21: Factores de Participación.

| Modo | Periodo (seg) | UX       | UY       |
|------|---------------|----------|----------|
| 1    | 0,271         | 6,15E-06 | 6,90E-07 |
| 2    | 0,257         | 0,1442   | 0,0329   |
| 3    | 0,251         | 0,0206   | 0,0022   |
| 4    | 0,25          | 0,2874   | 0,0289   |
| 5    | 0,241         | 0,3449   | 0,0046   |
| 6    | 0,214         | 3,24E-05 | 0,0014   |
| 2000 | 0,003         | 0        | 0        |
|      | <b>Total</b>  | 0,9987   | 0,994    |

### 4.3.3 Núcleo de Concreto Reforzado

El núcleo es el único miembro estructural sismoresistente, el mismo está conformado por un par de muros de concreto reforzado en forma de "c" que constan de cuatro elementos de borde y de tres pantallas de 32cm de espesor, a su vez acoplados entre sí a través de vigas de enlace de sección 32x70 cm (Spandrel). En la figura a continuación se muestra la sección utilizada.

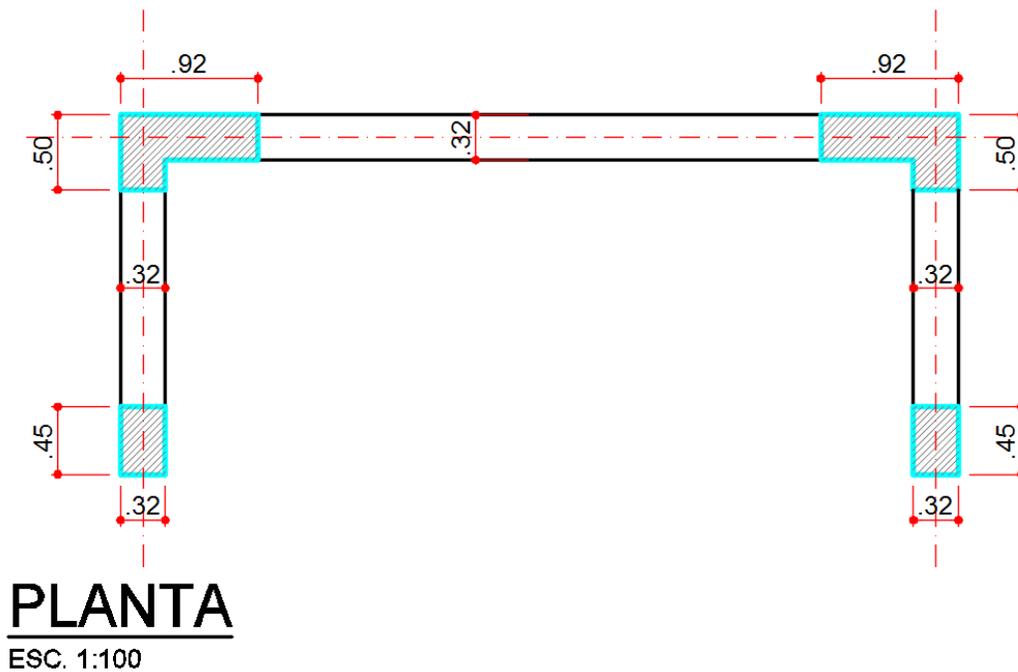
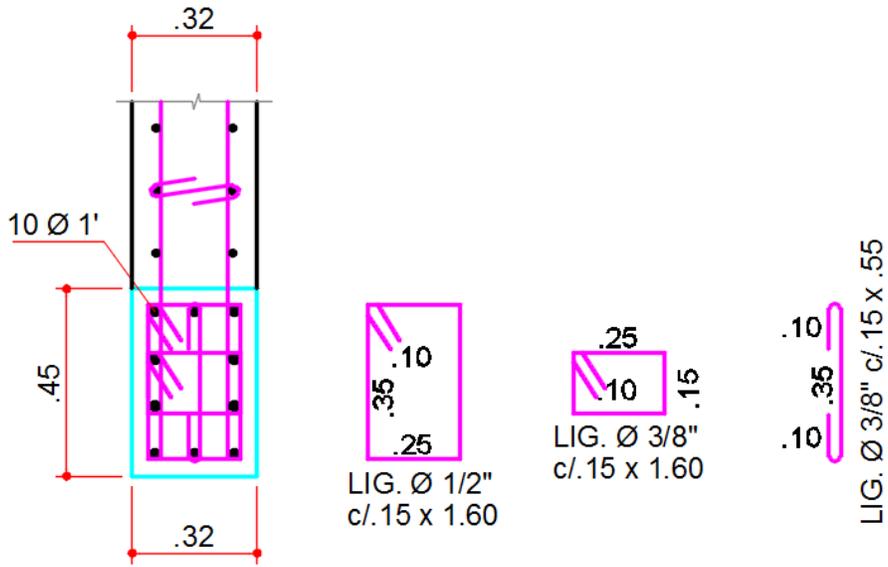


Figura 23: Muro Núcleo de Concreto Reforzado.

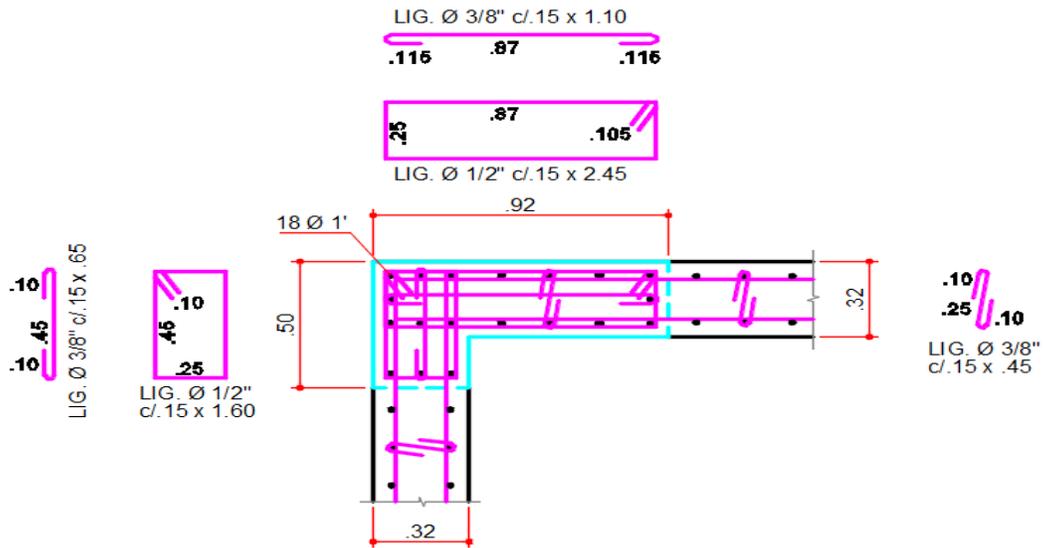


## DETALLE COLUMNA .45 x .30

ESC. 1:20

• 10 Ø 1'

Figura 24: Muro Núcleo de Concreto Reforzado.



## DETALLE COLUMNA .92 x .50 x .30

ESC. 1:20

• 18 Ø 1'

Figura 25: Muro Núcleo de Concreto Reforzado.

El diseño del núcleo se llevó a cabo considerando el uso de concreto de alta resistencia con un  $f'_c = 400 \text{ Kgf/cm}^2$ , y acero refuerzo (cabillas) con una resistencia equivalente a  $F_y = 4200 \text{ Kgf/cm}^2$ .

La sección utilizada se encuentra conformada por cabillas de refuerzo de  $\phi 7/8$ " cada de 10cm. Posteriormente al primer análisis, que constaba de un núcleo sin elementos de bordes, se obtuvo que el mismo requería de dichos elementos para controlar las fuerzas sísmicas actuantes en los pisos 1 y 2. Estos elementos, deben colocarse cuando,

$$c \geq \frac{\ell_w}{600(1.5\delta_u/h_w)}$$

Siendo  $C$  el espesor más largo del eje neutro correspondiente al esfuerzo de flexión desarrollado en el muro cuando este se desplaza en la misma dirección de  $\delta u$ .

Se muestra a continuación el reporte del diseño del muro en el primer nivel, siendo este el nivel de mayor requerimiento.

Tabla N°22: **Diseño a Flexión Núcleo de Concreto.**

| <b>Flexural Design for P, M<sub>3</sub> and M<sub>2</sub></b> |            |                 |                              |                                 |                                 |
|---|------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Station</b>  | <b>D/C</b> | <b>Flexural</b> | <b>P<sub>u</sub><br/>kgf</b> | <b>M<sub>u2</sub><br/>kgf-m</b> | <b>M<sub>u3</sub><br/>kgf-m</b> |
| Top   | 0,224      | DWAl4           | 1496330,05                   | -106762,21                      | -1609907,45                     |
| Bottom  | 0,561      | DWAl8           | 66428,48                     | 696677,05                       | -2173575,33                     |

Tabla N°23: Diseño a Corte Núcleo de Concreto.

## Shear Design

| Station Location | ID    | Rebar m <sup>2</sup> /m | Shear Combo | P <sub>u</sub> Kgf | M <sub>u</sub> kgf-m | V <sub>u</sub> kgf | ΦV <sub>c</sub> kgf | ΦV <sub>n</sub> kgf |
|------------------|-------|-------------------------|-------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Top              | Leg 1 | 0,0005                  | DWal4       | 51957,84           | 12678,55             | 18093,33           | 43273,23            | 78707,94            |
| Top              | Leg 2 | 0,0008                  | DWal4       | 38973,47           | 88499,58             | 70614,88           | 99927,12            | 156622,65           |
| Top              | Leg 3 | 0,0008                  | DWal4       | 121393,36          | 200880,37            | 132172,54          | 260131,82           | 405920,35           |
| Top              | Leg 4 | 0,0008                  | DWal4       | 27984,56           | 94225,3              | 64435,17           | 98278,78            | 154974,32           |
| Bottom           | Leg 1 | 0,0005                  | DWal4       | 61217,29           | 98655,02             | 14339,59           | 25825,12            | 61259,83            |
| Bottom           | Leg 2 | 0,0008                  | DWal4       | 52967,2            | 242100,01            | 70614,88           | 75070,9             | 131766,44           |
| Bottom           | Leg 3 | 0,0008                  | DWal4       | 157377,24          | 859487,21            | 132172,54          | 265529,4            | 411317,93           |
| Bottom           | Leg 4 | 0,0008                  | DWal4       | 41978,29           | 227958,01            | 64435,17           | 70379,25            | 127074,79           |

Tabla N°24: Chequeo Elementos de Borde Núcleo de Concreto.

## Boundary Element Check

| Station Location | ID    | Edge Length (mm) | Governing Combo | P <sub>u</sub> Kgf | M <sub>u</sub> kgf-m | Stress Comp kgf/m <sup>2</sup> | Stress Limit kgf/m <sup>2</sup> | C Depth Mm   | C Limit Mm   |
|------------------|-------|------------------|-----------------|--------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| Top-Left         | Leg 1 | 0                | DWal4           | 115419,2           | -26220,7             | 306440,4                       | 800000                          | Not Required | Not Required |
| Top-Right        | Leg 1 | 0                | DWal4           | 115419,3           | 12678,5              | 254620,7                       | 800000                          | Not Required | Not Required |
| Top-Left         | Leg 2 | 0                | DWal4           | 380272,3           | -112327,4            | 693051,3                       | 800000                          | 339,7        | 622,2        |
| Top-Right        | Leg 2 | 0                | DWal4           | 380272,3           | 88499,6              | 636064,9                       | 800000                          | 324,7        | 622,2        |
| Top-Left         | Leg 3 | 0                | DWal4           | 950027,4           | -260026,1            | 506387,1                       | 800000                          | Not Required | Not Required |
| Top-Right        | Leg 3 | 0                | DWal4           | 950027,4           | 200880,4             | 484994,7                       | 800000                          | Not Required | Not Required |
| Top-Left         | Leg 4 | 0                | DWal4           | 357060,9           | -96015,1             | 628133,5                       | 800000                          | 313,1        | 622,2        |
| Top-Right        | Leg 4 | 0                | DWal4           | 357060,9           | 94225,3              | 623853,1                       | 800000                          | 311,9        | 622,2        |
| Bottom-Left      | Leg 1 | 0                | DWal4           | 126931,9           | -8409,2              | 258842,3                       | 800000                          | Not Required | Not Required |

| Station Location | ID    | Edge Length (mm) | Governing Combo | $P_u$ Kgf | $M_u$ kgf-m | Stress Comp kgf/m <sup>2</sup> | Stress Limit kgf/m <sup>2</sup> | C Depth Mm | C Limit Mm |
|------------------|-------|------------------|-----------------|-----------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|------------|------------|
| Bottom-Right     | Leg 1 | 0                | DWal4           | 126931,9  | 98655,1     | 604170,5                       | 800000                          | 243,2      | 622,2      |
| Bottom-Left      | Leg 2 | 0                | DWal4           | 394266,1  | -208260,7   | 938101,4                       | 800000                          | 410,2      | 622,2      |
| Bottom-Right     | Leg 2 | 0                | DWal4           | 394266,1  | 242100,1    | 1019030,9                      | 800000                          | 431,5      | 622,2      |
| Bottom-Left      | Leg 3 | 0                | DWal4           | 986011,3  | -888851,6   | 749444,8                       | 800000                          | 915,3      | 1600       |
| Bottom-Right     | Leg 3 | 0                | DWal4           | 986011,3  | 859487,2    | 738824,1                       | 800000                          | 908,1      | 1600       |
| Bottom-Left      | Leg 4 | 0                | DWal4           | 371054,7  | -210234,6   | 916916,8                       | 800000                          | 395,1      | 622,2      |
| Bottom-Right     | Leg 4 | 0                | DWal4           | 371054,7  | 227958,1    | 959303,8                       | 800000                          | 406,2      | 622,2      |

#### 4.3.4 Diseño de estructura de acero

Como se ha mencionado anteriormente, el único elemento sismoresistente de la estructura es el núcleo de concreto, por lo tanto la estructura de acero conformada por los módulos debe ser clasificada en el nivel de diseño 1, según lo estipulado en la norma COVENIN 1756-2001, esto es debido a que la estructura de acero no requiere la aplicación de requisitos adicionales a los establecidos para acciones gravitacionales.

Debido a lo antes expuesto, todos los elementos que conforman la estructura de acero, es decir, las vigas y los elementos verticales de los módulos, deben ser diseñados como OMF (Ordinary Moment Frames). Cabe destacar que la norma COVENIN 1618-98C, señala en la tabla C-3.1 que el factor de reducción R para este tipo de estructura debe ser de 2,5, pero a su vez, para los muros de concreto reforzado el factor de reducción debe ser de 4, y como el único

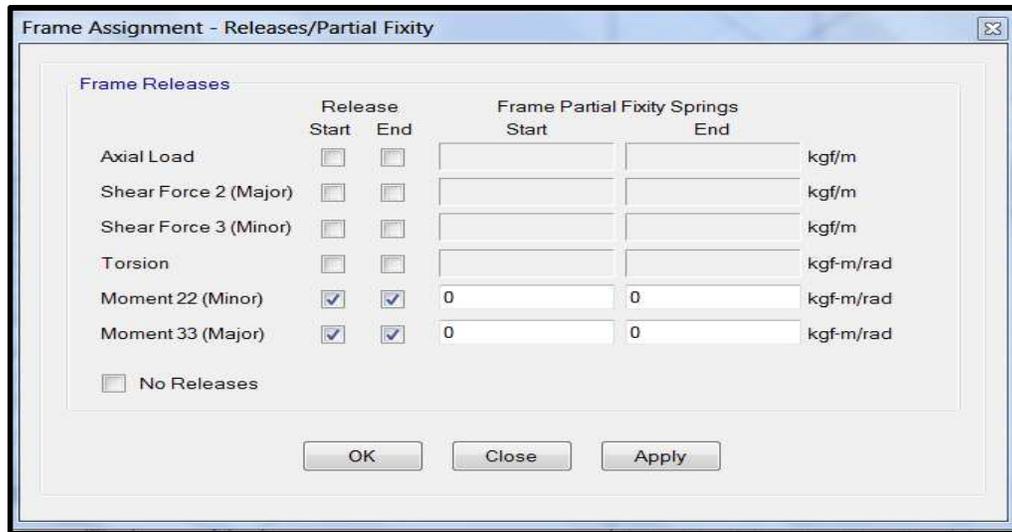
elemento sismoresistente de la estructura es el núcleo de concreto, se mantiene el factor de reducción de 4, como se mencionó anteriormente.

| b) ESTRUCTURAS MIXTAS ACERO – CONCRETO |  |   |   |   |   |
|--|--|---|---|---|---|
| NIVEL DE DISEÑO                        | TIPOS ESTRUCTURALES  |   |   |   |   |
|  | I  | II  | III   | IIIa  | IV  |
| ND3                                    | Pórticos resistentes a momento con columnas de concreto o mixtas, y vigas de acero o mixtas (C-SMF)<br>R = 6 | Pórticos resistentes a momento (C-SMF) + C-EBF o C-SCBF o C-SRCW o C-SPW<br>R = 5 | Pórticos resistentes a momento con columnas de concreto o mixtas, vigas y arriost. concéntricas de acero o mixtas (C-SCBF)<br>R = 4 | Pórticos resistentes a momentos con columnas de concreto o mixtas, vigas de acero o parcialmente mixtas, y arriost. excéntricos de acero (C-EBF)<br>R = 6 | Pórticos resistentes a momento con columnas de concreto o mixtas, y vigas de acero o mixtas (C-SMF).<br>R = 2.0 |
|  |  |   | Muros estructurales de concreto reforzado con miembros de borde de sección mixta (C-SRCW)<br>R = 4                                  | Muros estructurales reforzados con planchas de acero y miembros de borde de sección mixta (C-SPW)<br>R = 5  |   |

Figura 26: Tabla C-3.1 COVENIN 1618-1998.

Ahora bien, la estructura consta de módulos conformados de elementos de acero conectados entre sí para formar una unidad, dichos módulos están anclados al muro, generando un volado de 7,2m, lo que conlleva a grandes deformaciones. Para controlar tales deformaciones, se utilizaron conexiones totalmente rígidas entre los elementos de cada módulo y a su vez entre ellos, por lo que hay transmisión de momentos entre todos sus componentes, a excepción de las correas las cuales transmiten las cargas gravitacionales a las vigas principales, por lo que la conexión de estas a las vigas es articulada.

Para simular las conexiones entre las correas y las vigas en el software ETABS, es necesario asignar a las correas "Releases", como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 27: Releases.**

Como se puede observar las correas no soportan momento, tomando en cuenta que las mismas se encuentran simplemente apoyadas sobre las vigas principales. En el caso de las vigas principales y los elementos verticales, las conexiones son totalmente rígidas.

Por otra parte, los grandes voladizos en la estructura generan momentos de gran magnitud, por lo que es necesario el uso de cerchas para controlar las deformaciones generadas por dichos momentos, lo que conlleva a la generación de fuerzas axiales importantes y a la reducción de los momentos.

Se utilizaron cerchas en los pórticos que están conectados directamente al núcleo y en los perimetrales. A continuación se muestran las cerchas colocadas en cada pórtico.

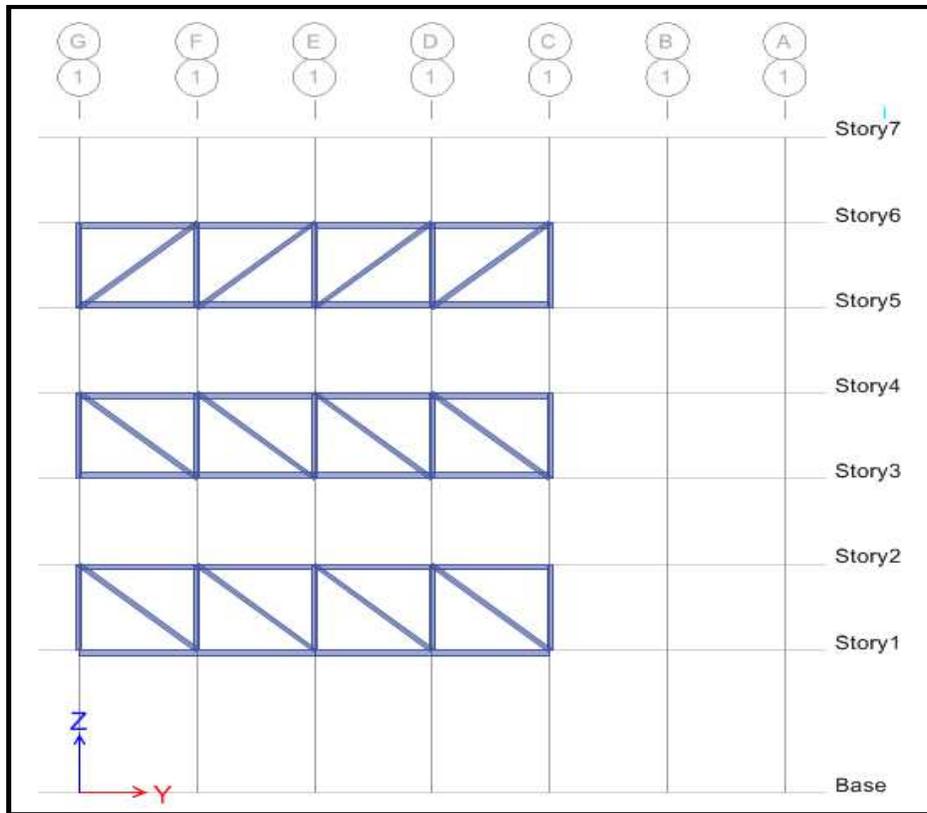


Figura 28: Pórtico Recto 1 (Perimetral).

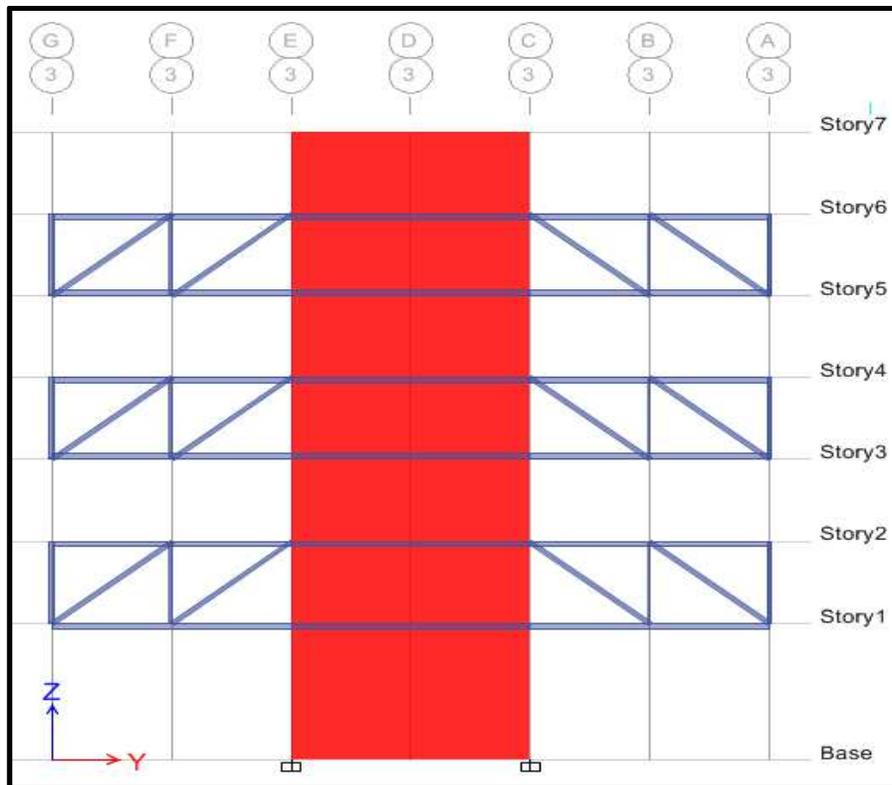


Figura 29: Pórtico Recto 3.

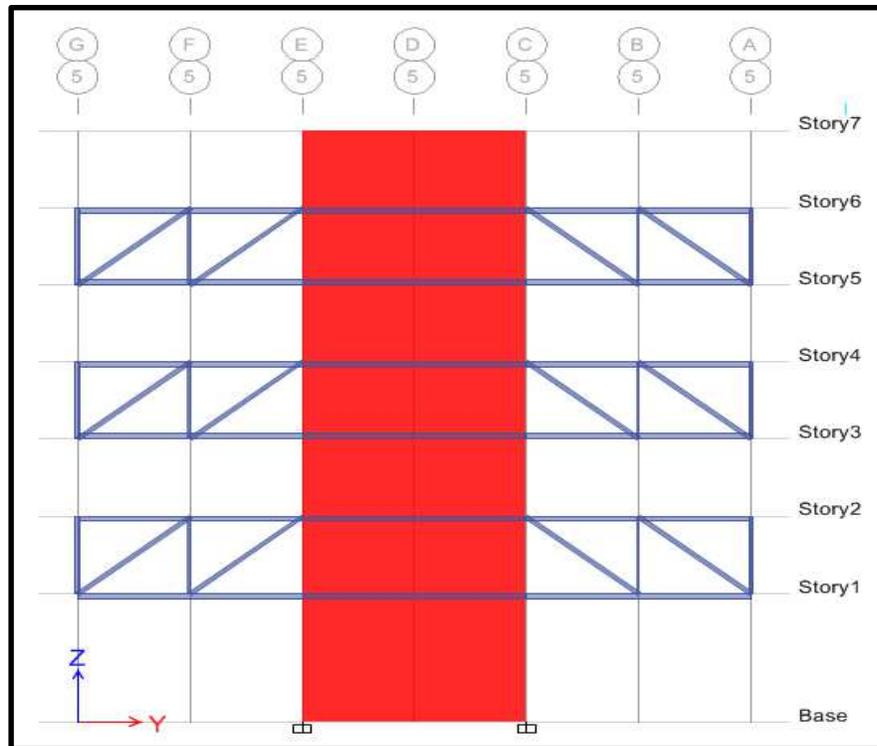


Figura 30: Pórtico Recto 5.

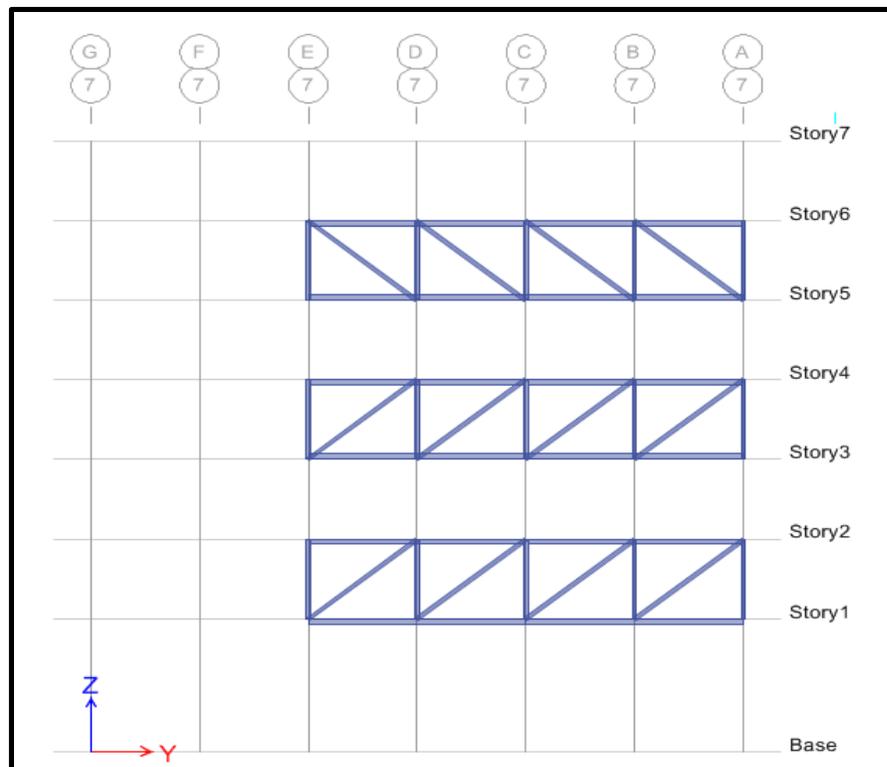


Figura 31: Pórtico Recto 7 (Perimetral).

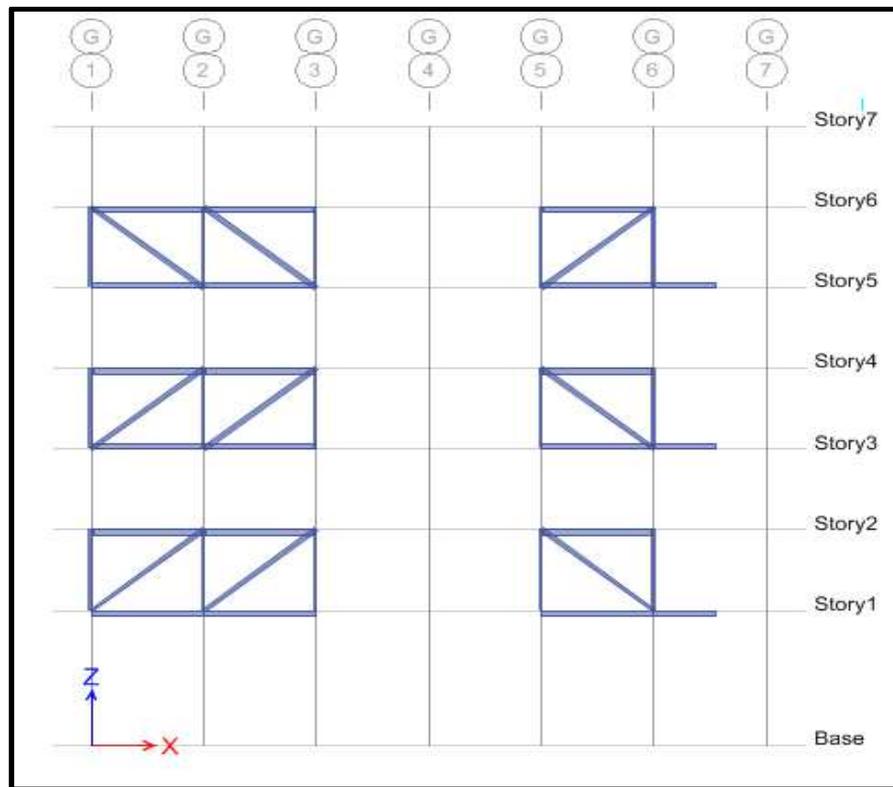


Figura 32: Pórtico Recto G (Perimetral).

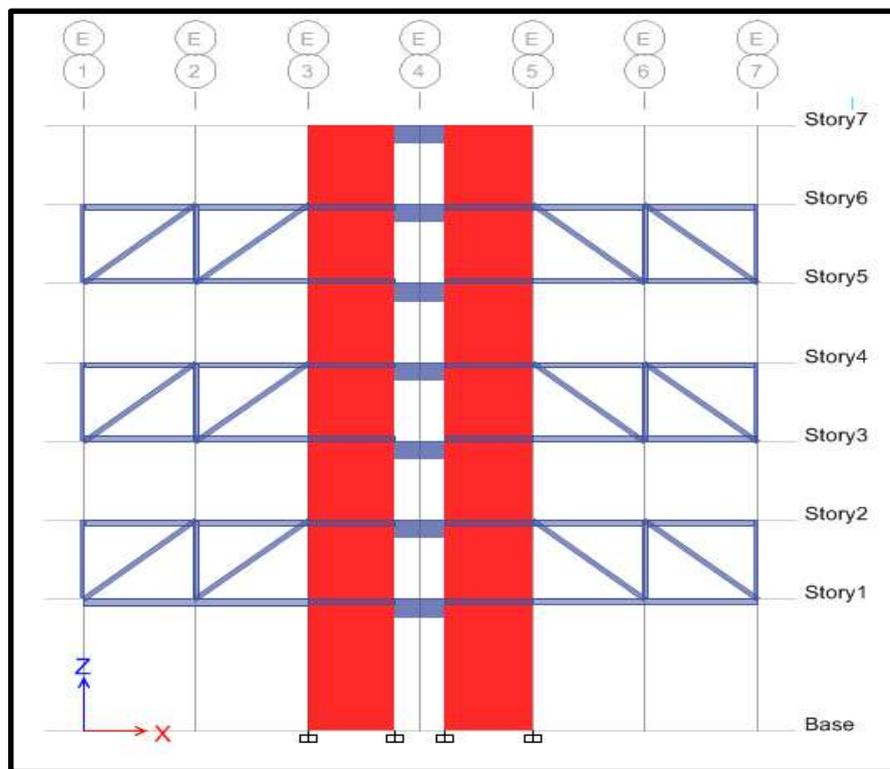


Figura 33: Pórtico Recto E.

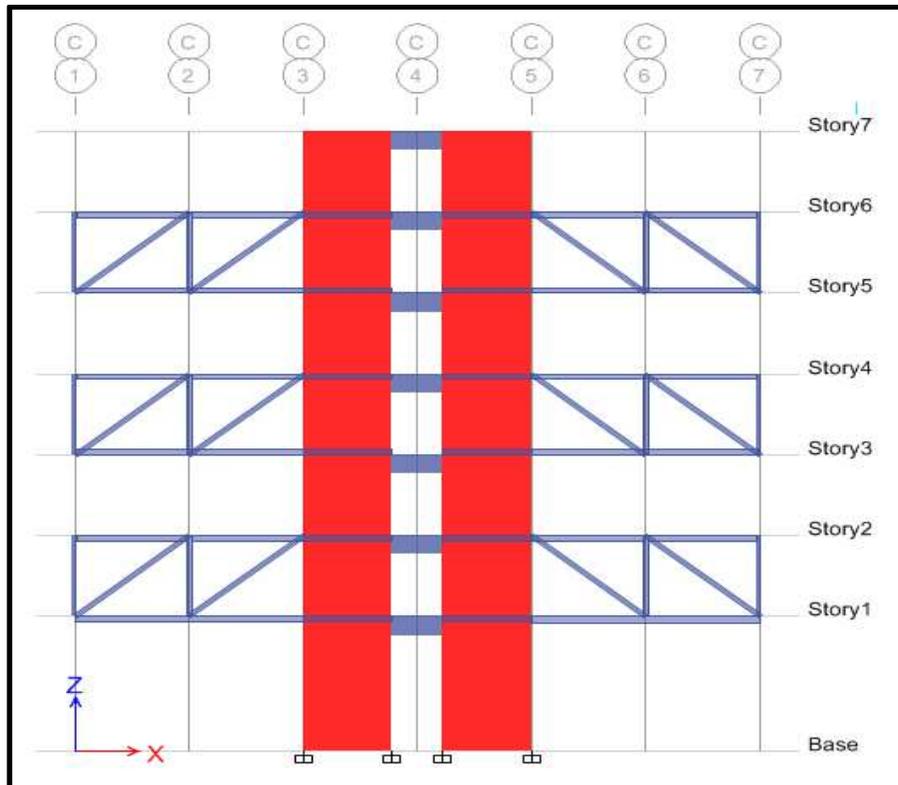


Figura 34: Pórtico Recto C.

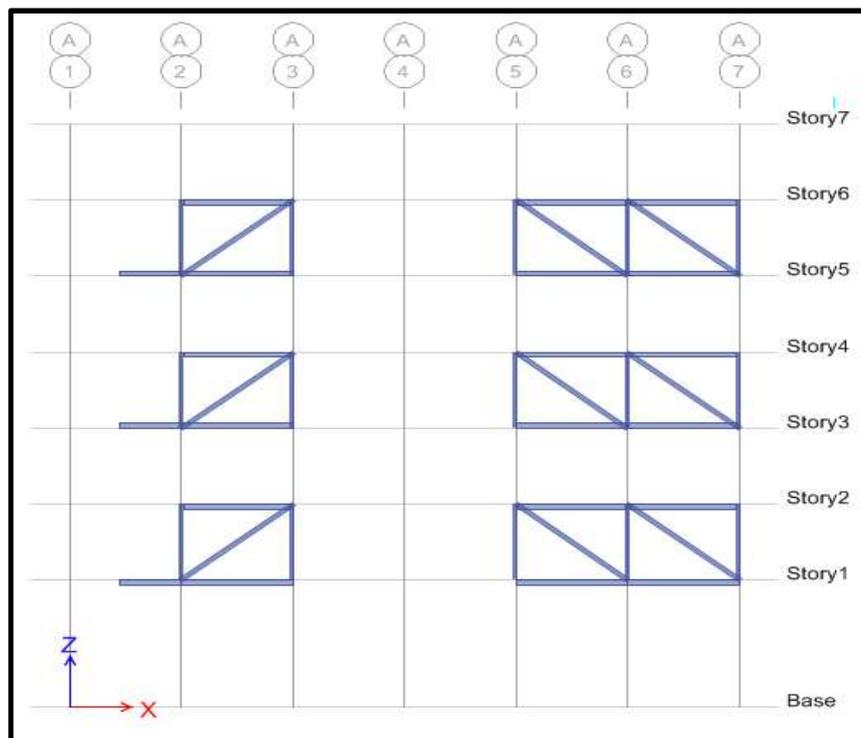


Figura 35: Pórtico Recto A (Perimetral).

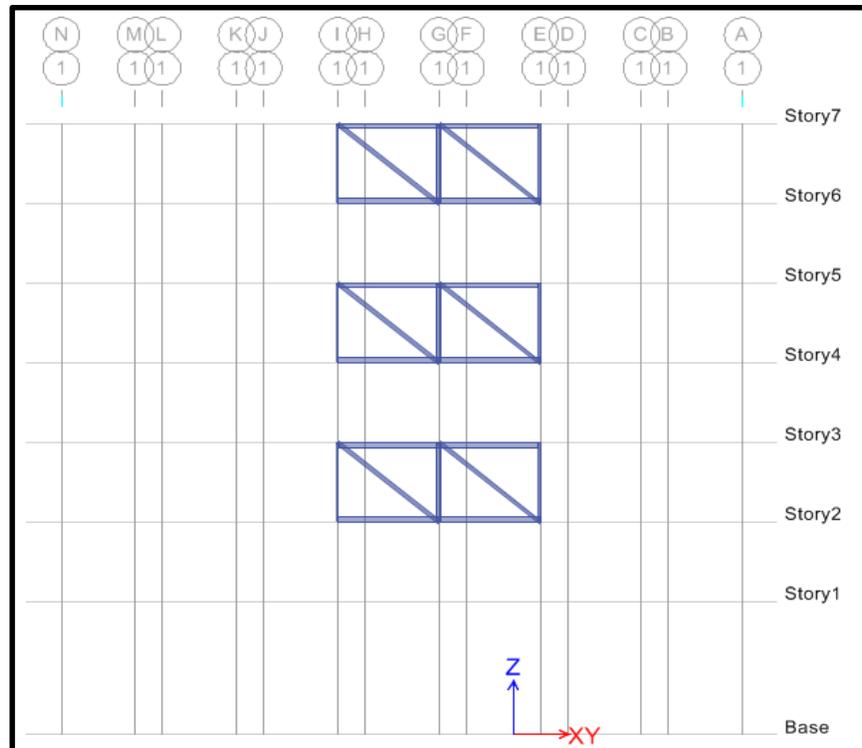


Figura 36: Pórtico Oblicuo 1 (Perimetral).

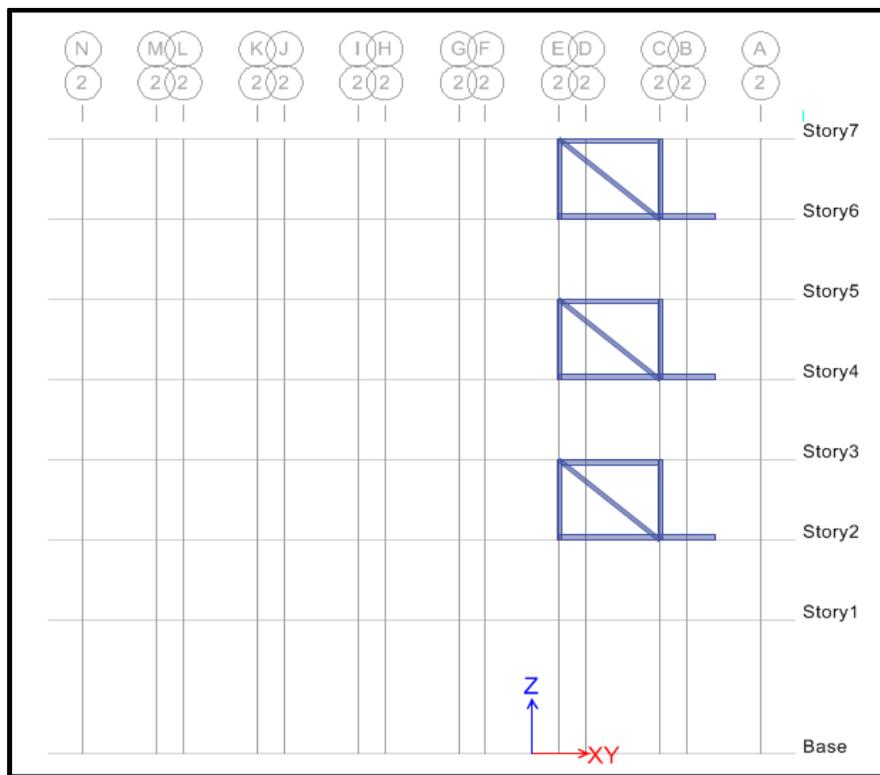


Figura 37: Pórtico Oblicuo 2 (Perimetral).

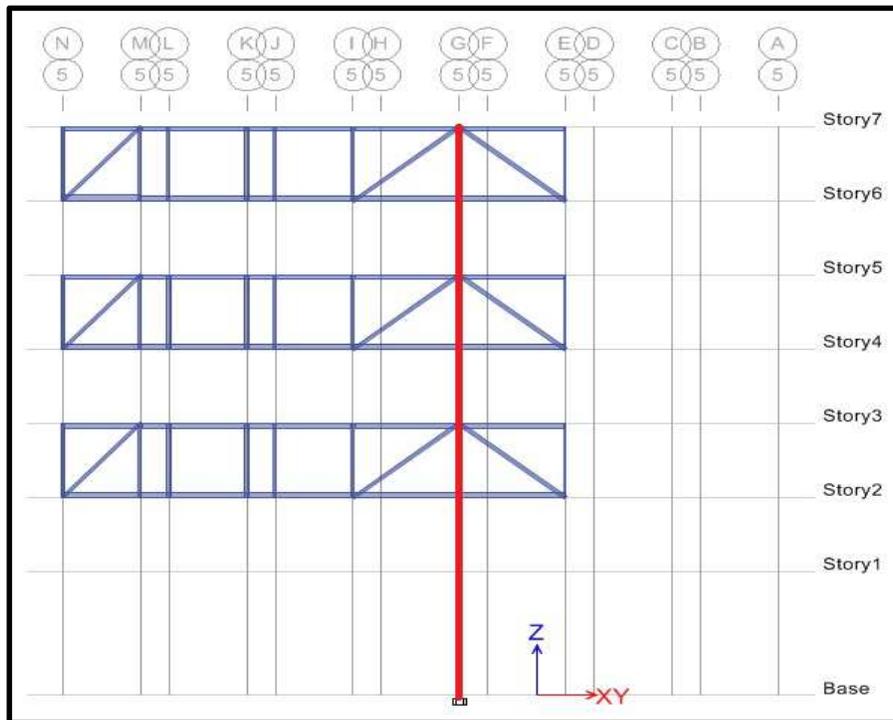


Figura 38: Pórtico Oblicuo 5.

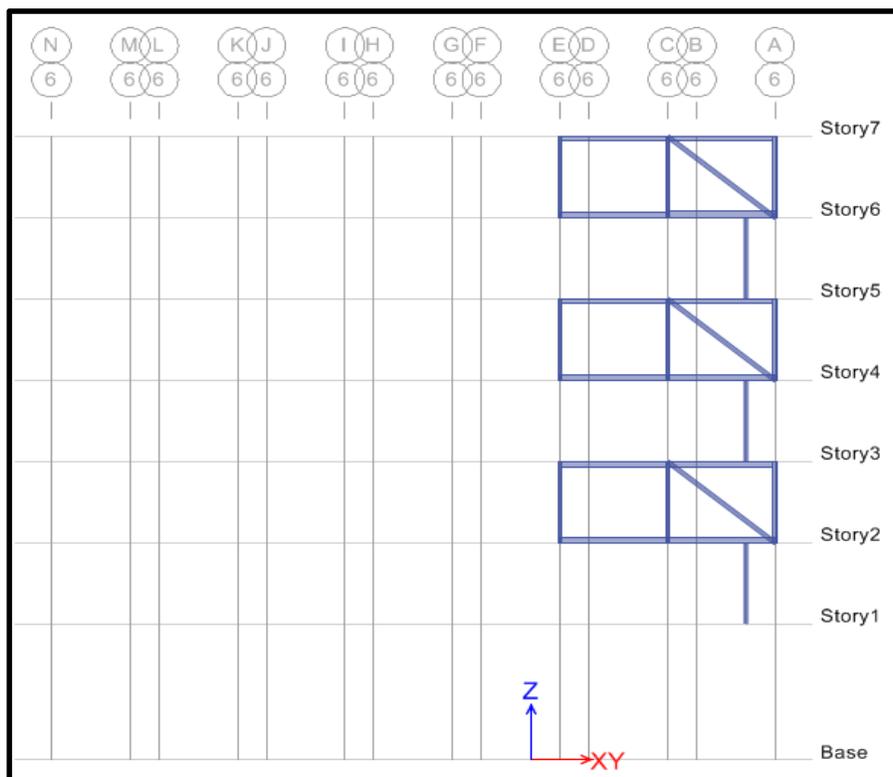


Figura 39: Pórtico Oblicuo 6 (Perimetral).

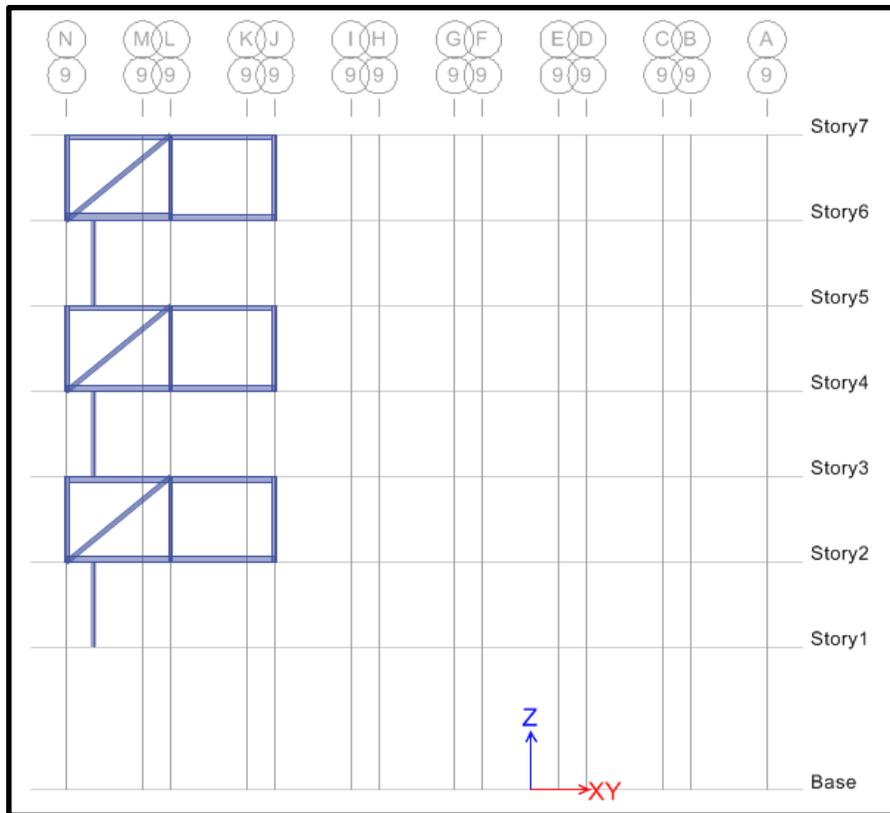


Figura 40: Pórtico Oblicuo 9 (Perimetral).

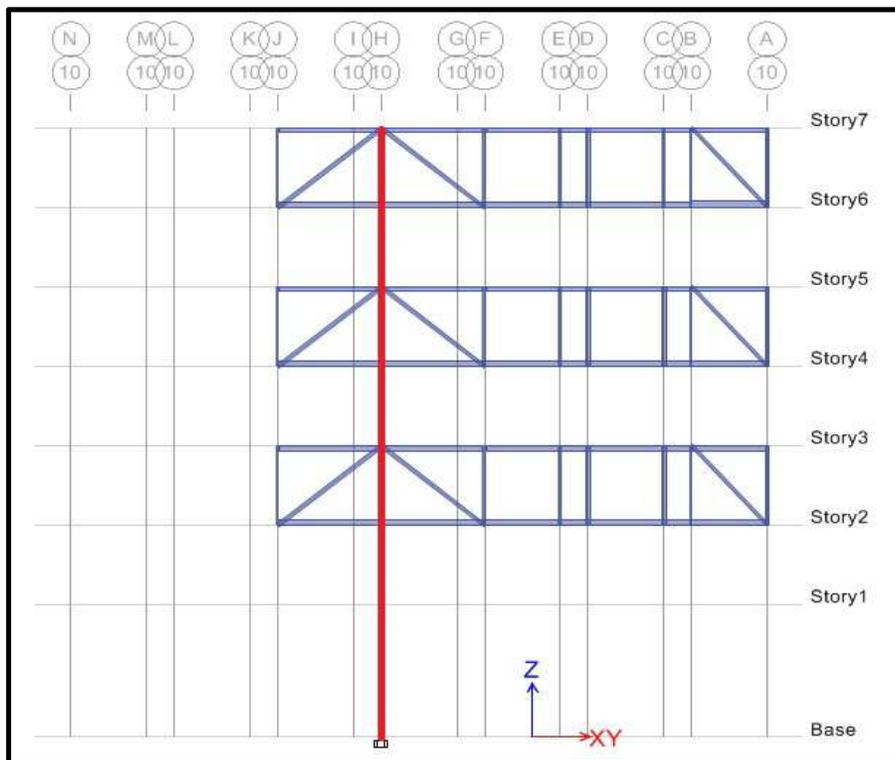


Figura 41: Pórtico Oblicuo 10.



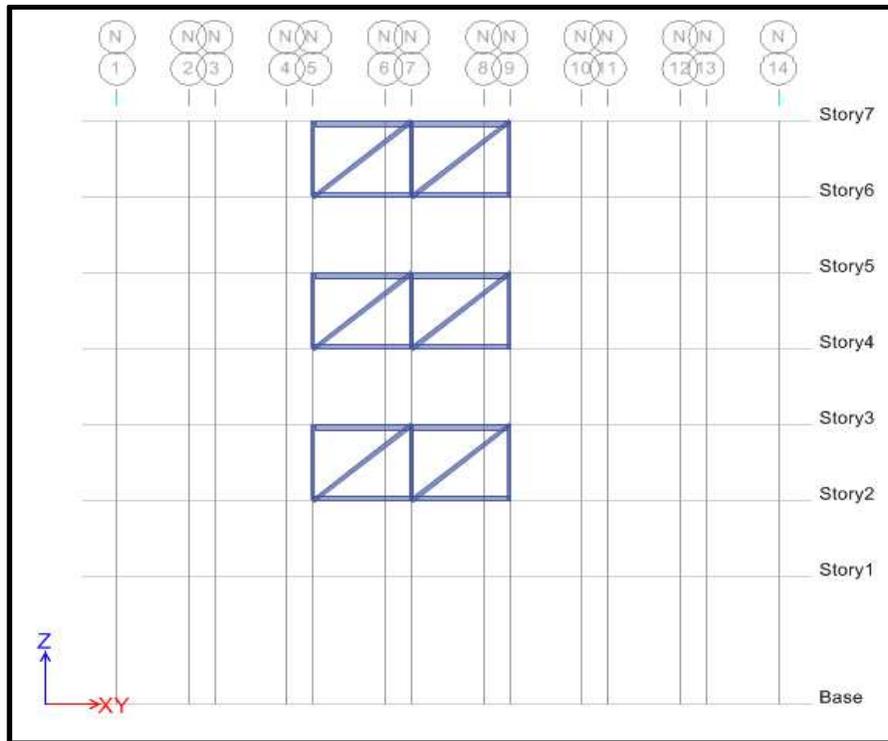


Figura 44: Pórtico Oblicuo N (Perimetral).

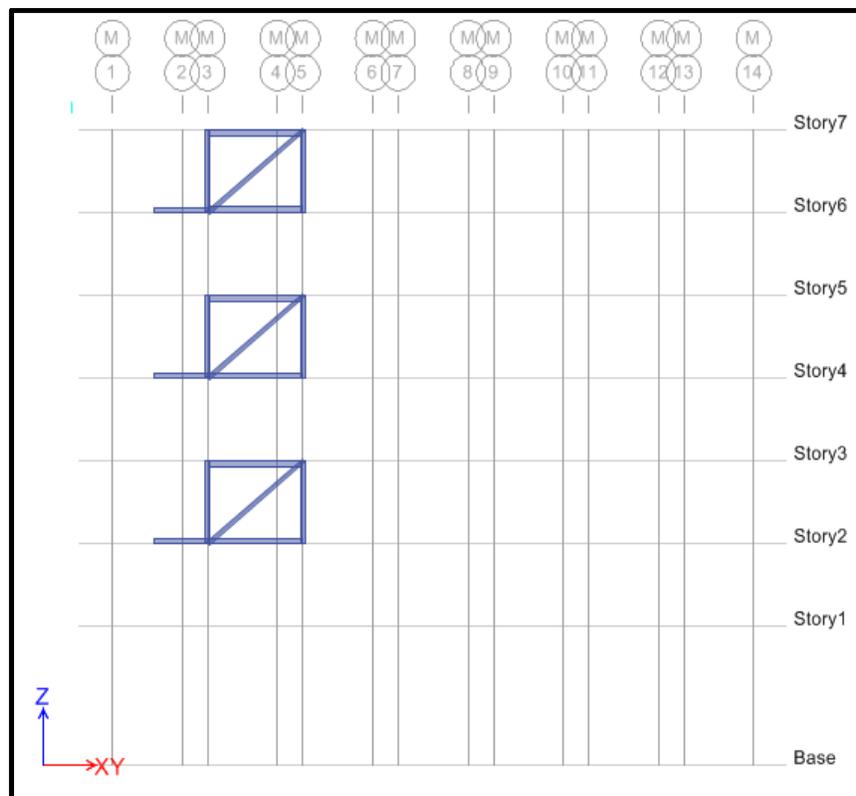


Figura 45: Pórtico Oblicuo M (Perimetral).

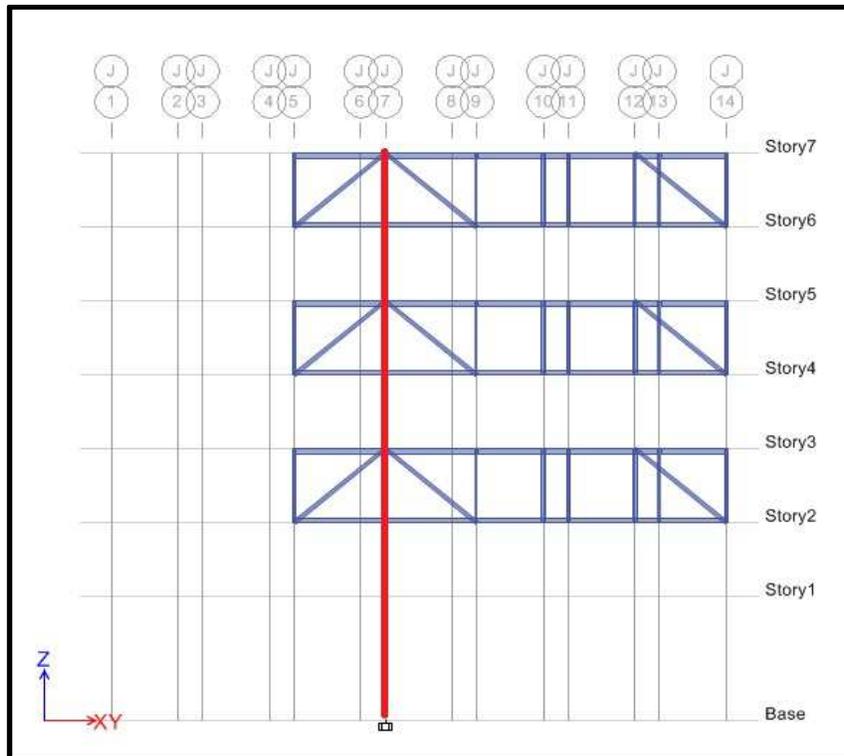


Figura 46: Pórtico Oblicuo J.

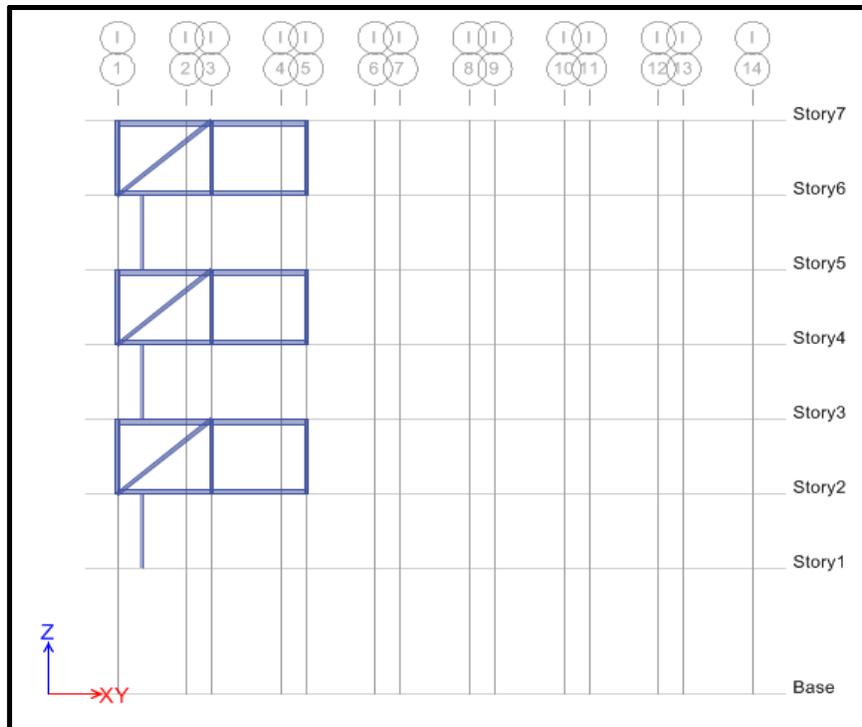


Figura 47: Pórtico Oblicuo I (Perimetral).

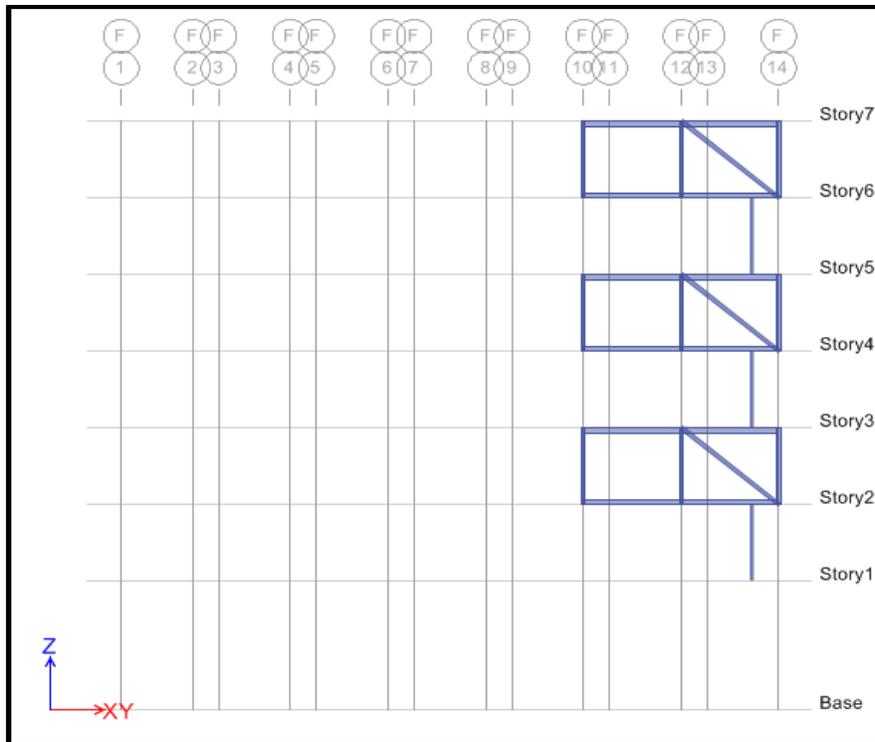


Figura 48: Pórtico Oblicuo F (Perimetral).

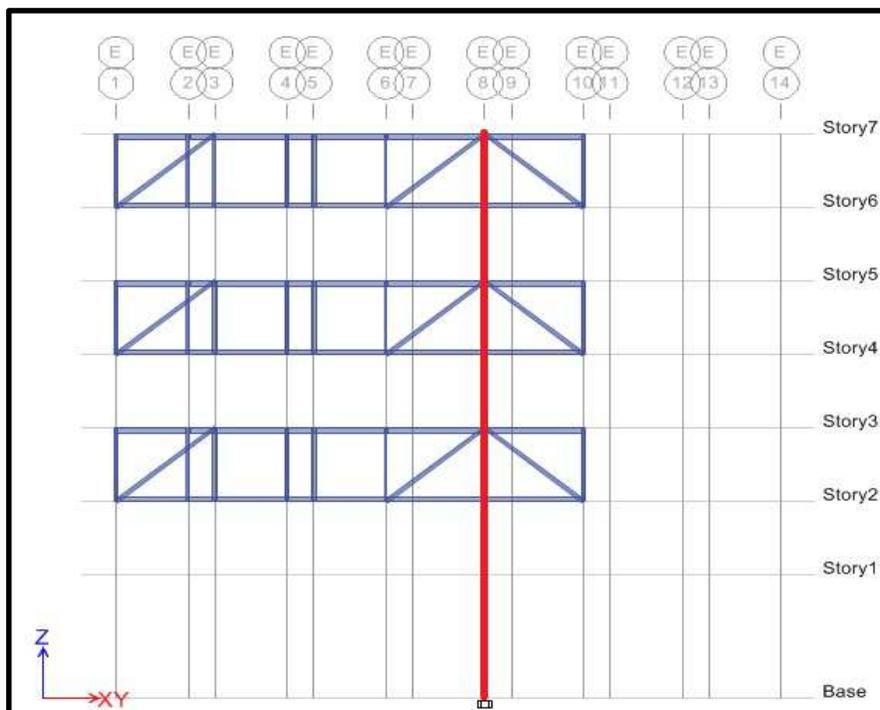


Figura 49: Pórtico Oblicuo E.

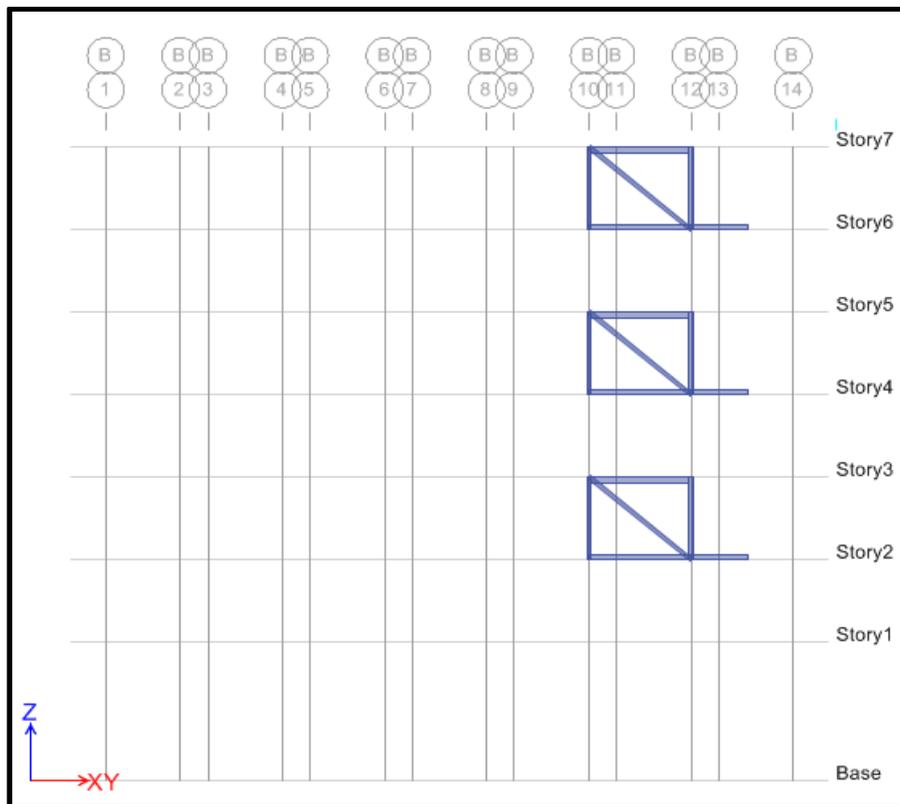


Figura 50: Pórtico Oblicuo B (Perimetral).

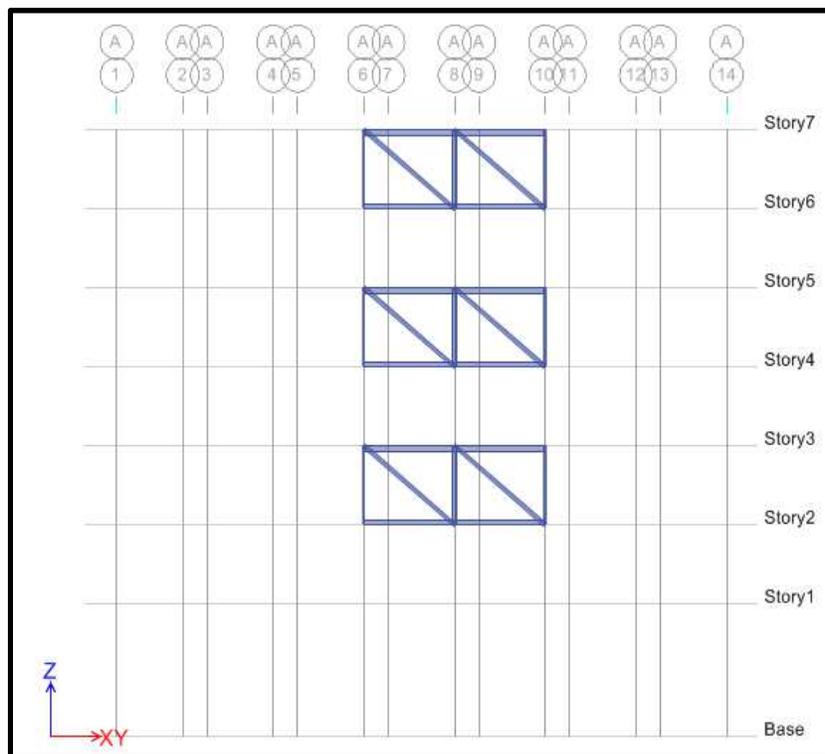
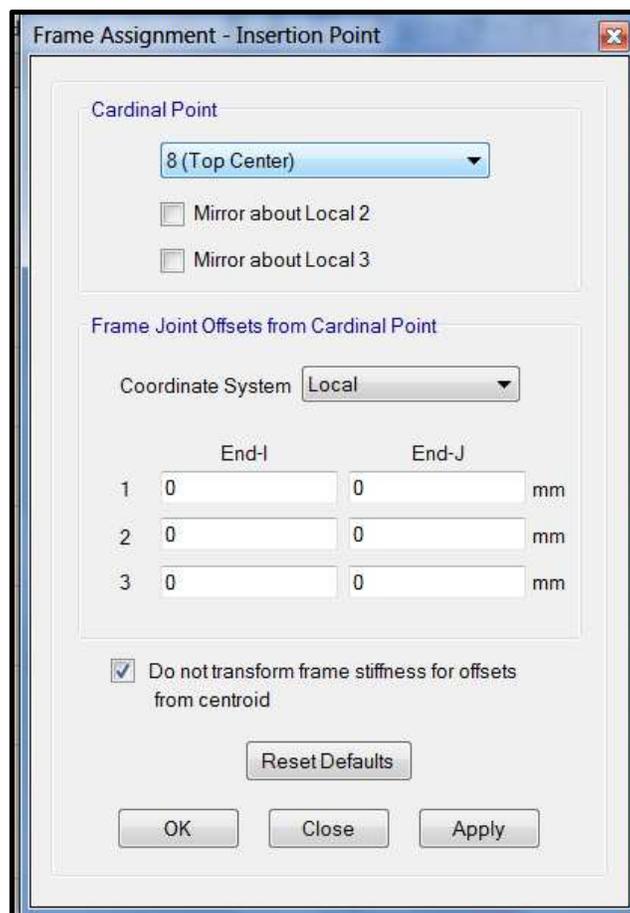


Figura 51: Pórtico Oblicuo A (Perimetral).

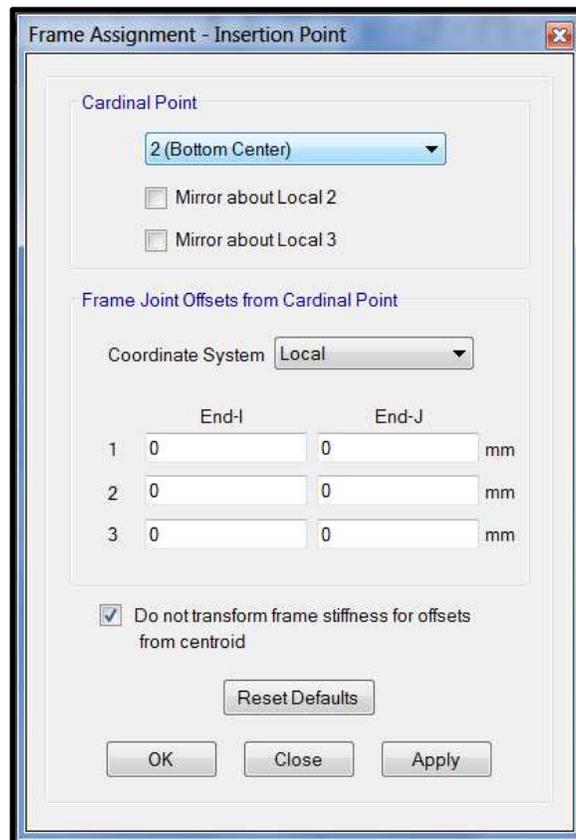
En otro orden de ideas, para simular la vinculación entre módulos en cada piso es necesario asignar distintos puntos de inserción para cada elemento del módulo, para así garantizar el contacto correcto entre módulos de manera de obtener los resultados apropiados.

Un ejemplo de lo anterior, se muestra entre los elementos de distintos pisos. Específicamente los que conforman el techo de los módulos, a los cuales se deben asignar como punto de inserción el punto central de la lámina superior de la sección, como se muestra a continuación en la figura 52.



**Figura 52: Punto de Inserción Superior.**

Al contrario de los elementos del techo, los que conforman el piso se le deben asignar como punto de inserción el punto central de la lámina inferior de la sección, como se muestra a continuación en la figura 53.



**Figura 53: Punto de Inserción Inferior.**

Ahora bien, con este procedimiento se asume que los elementos se encuentran conectados entre sí en los puntos en los cuales se intersectan mediante conexiones rígidas. De lo contrario, en el caso en que los módulos no se encontraran conectados entre sí, sería necesario utilización de “Links” o elementos de vinculación en cada uno de los puntos de intersección de los módulos, como se muestra en las figuras 54 y 55.

**Link Property Data**

General

Link Property Name: Link1      Link Type: Linear

Link Property Notes:       P-Delta Parameters:

Total Mass and Weight

Mass: 0 kgf-s<sup>2</sup>/m      Rotational Inertia 1: 0 kgf-m-s<sup>2</sup>

Weight: 0 kgf      Rotational Inertia 2: 0 kgf-m-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 3: 0 kgf-m-s<sup>2</sup>

Directional Properties

| Direction                              | Fixed                    | Properties  | Direction                              | Fixed                    |
|--|--------------------------|---|--|--------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> U1 | <input type="checkbox"/> | <input type="button" value="Modify/Show for All..."/> | <input checked="" type="checkbox"/> R1 | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> U2 | <input type="checkbox"/> |   | <input checked="" type="checkbox"/> R2 | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> U3 | <input type="checkbox"/> |   | <input checked="" type="checkbox"/> R3 | <input type="checkbox"/> |

Figura 54: Link 1.

**Linear Link/Support Directional Properties**

Link/Support Property Name: Link1

Directional Control

| Direction                              | Fixed                        |
|--|------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> U1 | <input type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> U2 | <input type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> U3 | <input type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> R1 | <input type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> R2 | <input type="checkbox"/> Yes |
| <input checked="" type="checkbox"/> R3 | <input type="checkbox"/> Yes |

Shear Distance

U2: 0 m

U3: 0 m

Note: Distance is measured with respect to J-End of the link object

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness Is Uncoupled       Stiffness Is Coupled

| U1     | U2 | U3 | R1 | R2 | R3 |
|--------|----|----|----|----|----|
| 101.97 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled       Damping Is Coupled

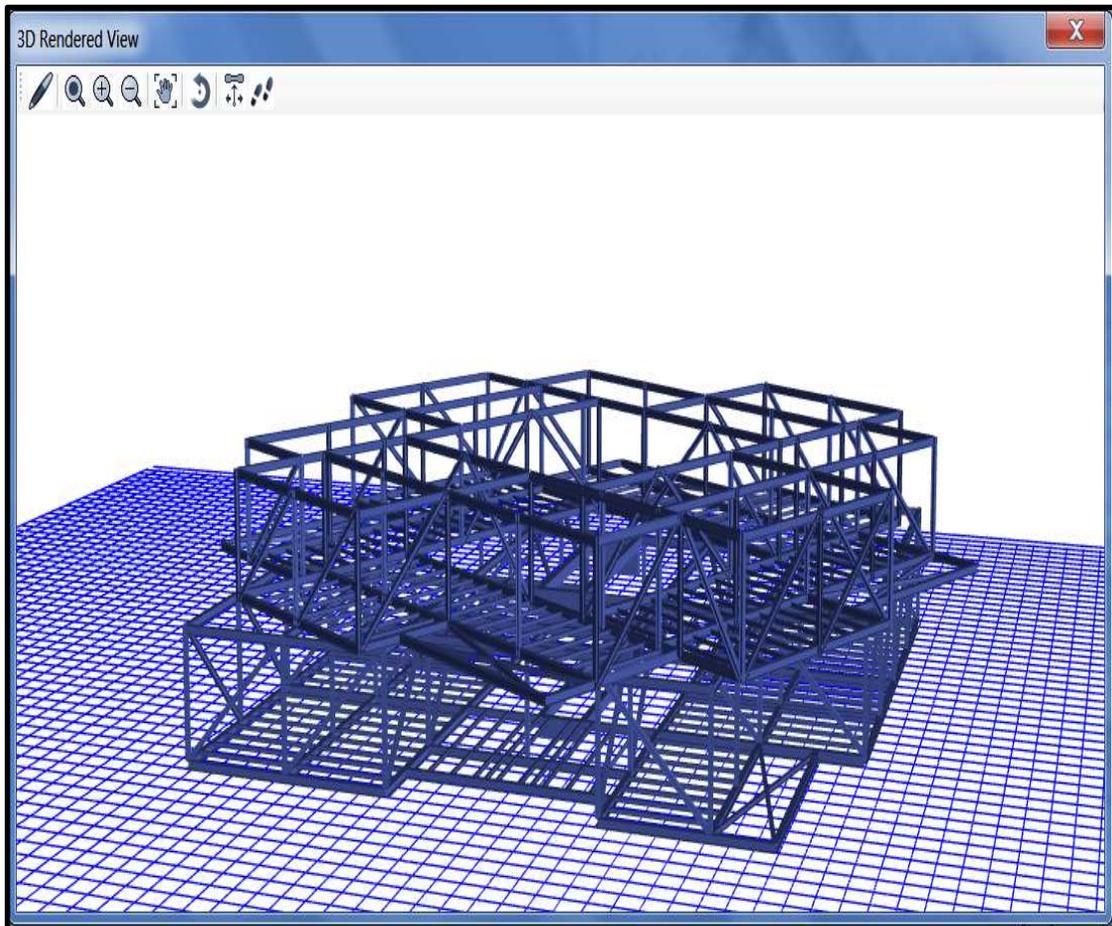
| U1 | U2 | U3 | R1 | R2 | R3 |
|----|----|----|----|----|----|
| 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Figura 55: Link 2.

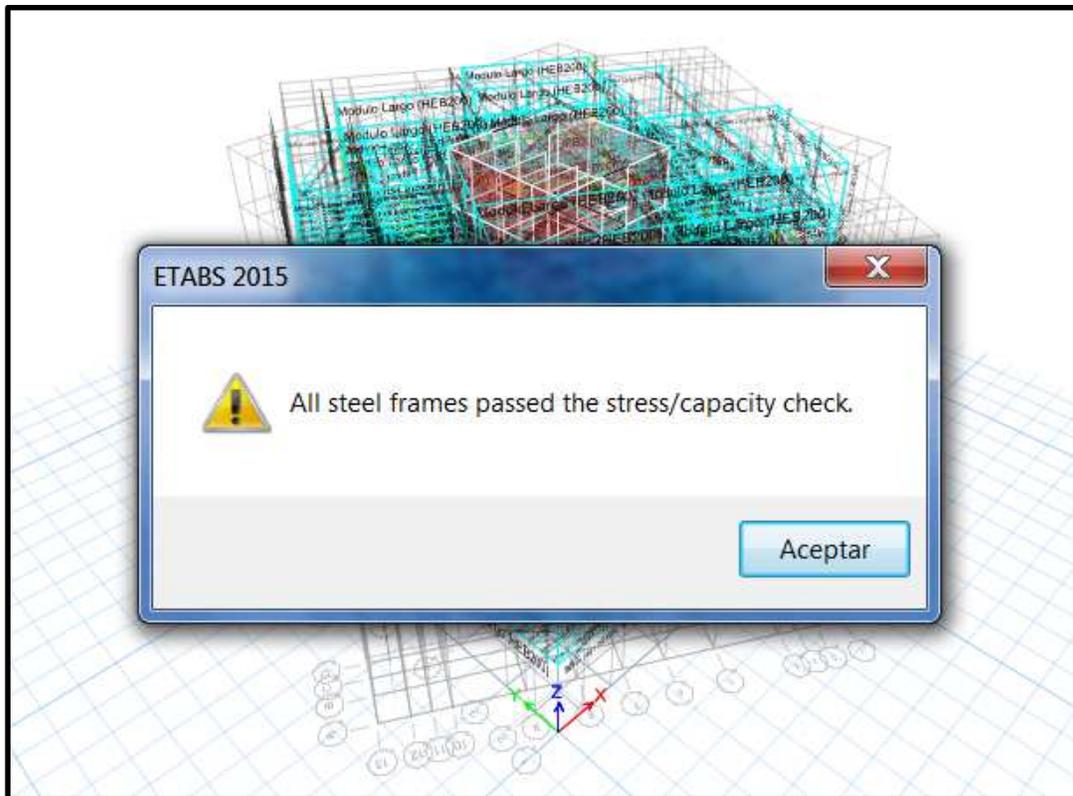
Para el caso estudiado, los módulos se encuentran conectados entre sí, por lo que no fueron requeridos los elementos de vinculación o “Links”.

En la siguiente figura se puede apreciar los puntos de conexión entre módulos de distintos pisos.



**Figura 56: Puntos de Intersección.**

Posteriormente, se procedió a verificar el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en la norma AISC 360-10, por parte de todos los elementos metálicos que conforman la estructura, según la sección utilizada y las solicitaciones aplicadas sobre las mismas.



**Figura 57: Chequeo Elementos de Acero.**

Como se puede observar en la figura 57, todos los miembros cumplen con la función Demanda/Capacidad, para las solicitaciones a las cuales se encuentran sometidos.

A continuación se muestra las secciones utilizadas, para la fabricación de las unidades (módulos).

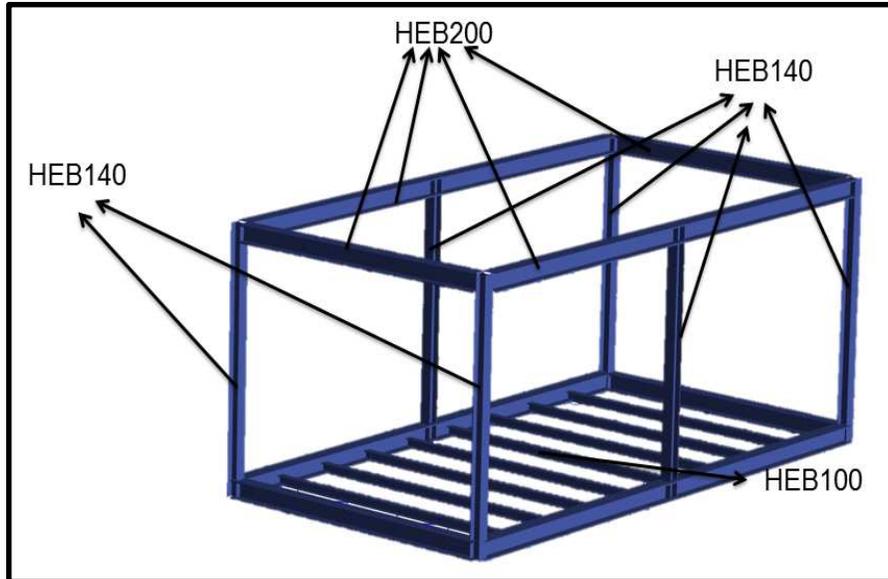


Figura 58: Secciones Modulo

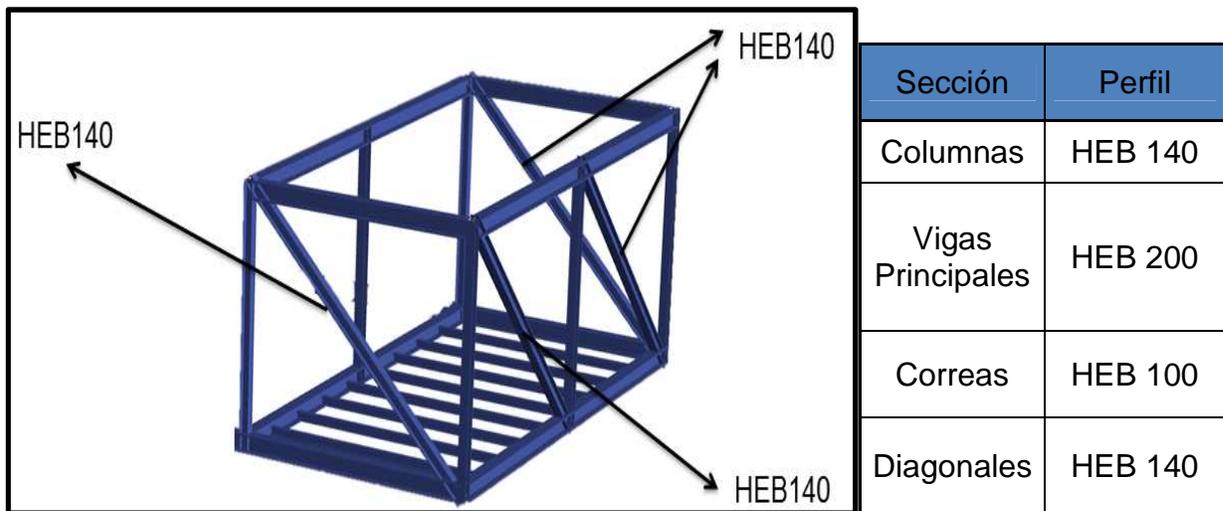


Figura 59: Secciones Modulo con Diagonales

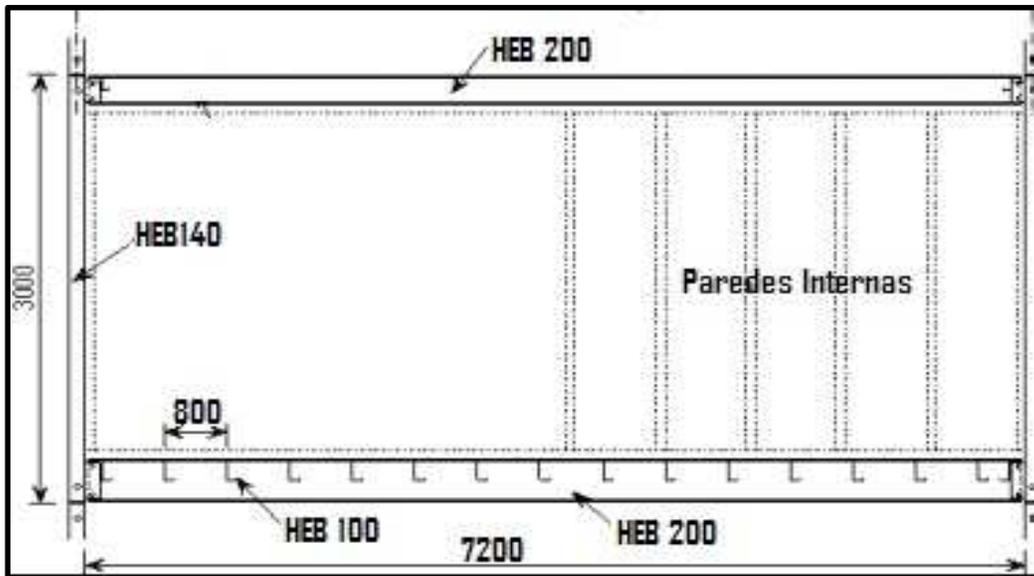


Figura 60: Corte Lateral Modulo Con Perfiles H

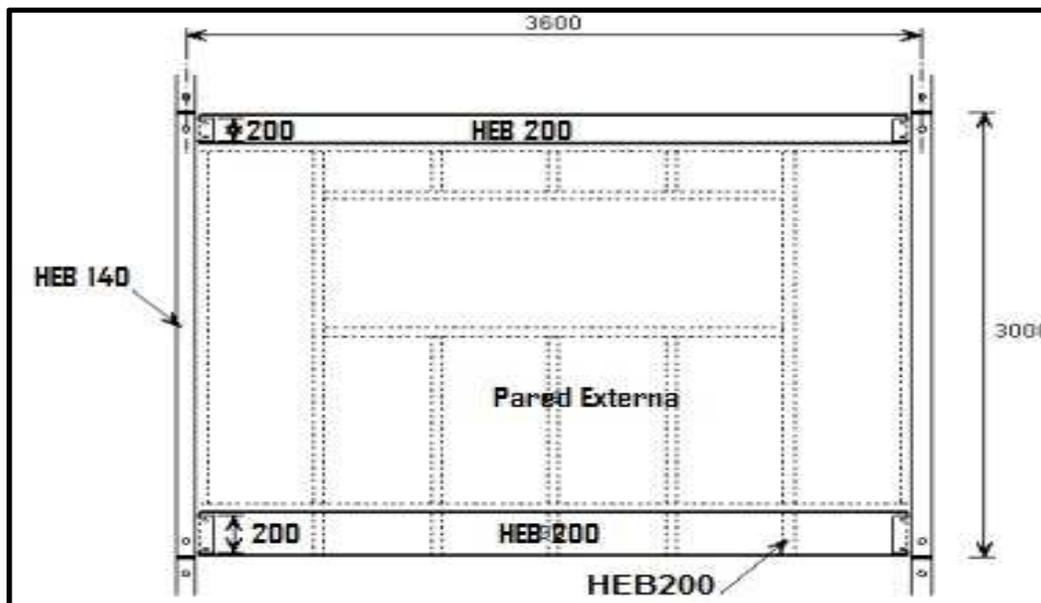


Figura 61: Corte Frontal Modulo Con Perfiles H.

Con la utilización de los perfiles antes expuestos, se logró el equivalente a  $85,2\text{kg/m}^2$  de acero, el cual se encuentra dentro de los rangos razonables para una edificación sismoresistente. Esto demuestra la versatilidad del sistema constructivo, que aun siendo un proyecto de planta libre y volados de gran tamaño, se encuentra dentro de los rangos estipulados.

En la siguiente tabla se puede observar el equivalente a las áreas e inercias requeridas por cada elemento para soportar las solicitaciones.

Tabla N°25: **Inercia y Áreas Equivalentes.**

| Sección           | Perfil  | $I_x$ (cm <sup>4</sup> ) | $I_y$ (cm <sup>4</sup> ) | Área (cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------|---------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Columnas          | HEB 140 | 1509                     | 550                      | 49                      |
| Vigas Principales | HEB 200 | 5696                     | 2003                     | 78,1                    |
| Correas           | HEB 100 | 450                      | 167                      | 26                      |
| Diagonales        | HEB 140 | 1509                     | 550                      | 49                      |

Finalmente, debido a que cada módulo presenta una configuración distinta de las diagonales y estos deben ser prefabricados es necesario realizar un detallado de cada uno de los distintos tipos de módulos en los cuales se muestra la configuración de las diagonales, la cual se muestra a continuación.

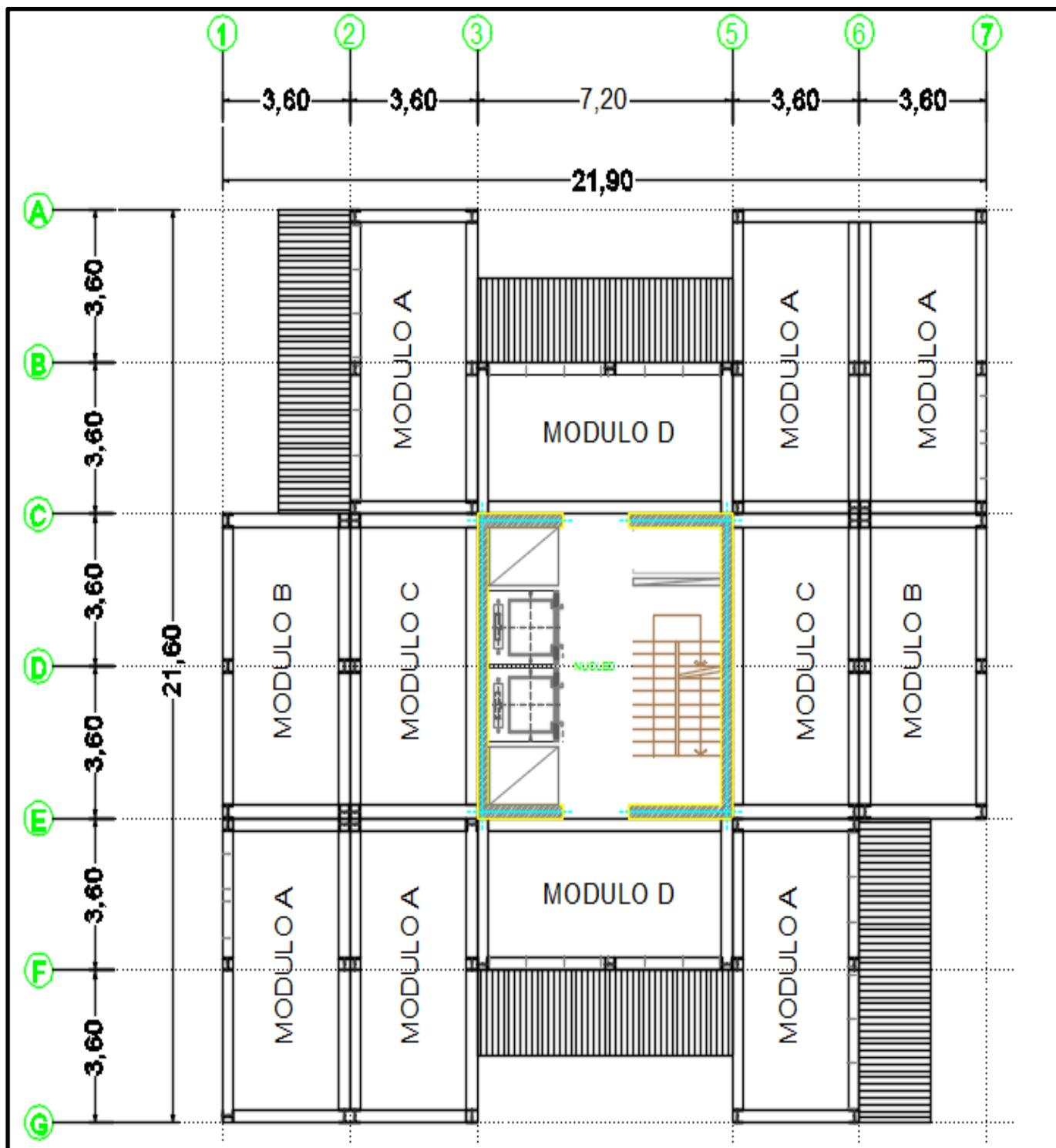


Figura 62: Distribución Tipos de Módulos Planta Recta

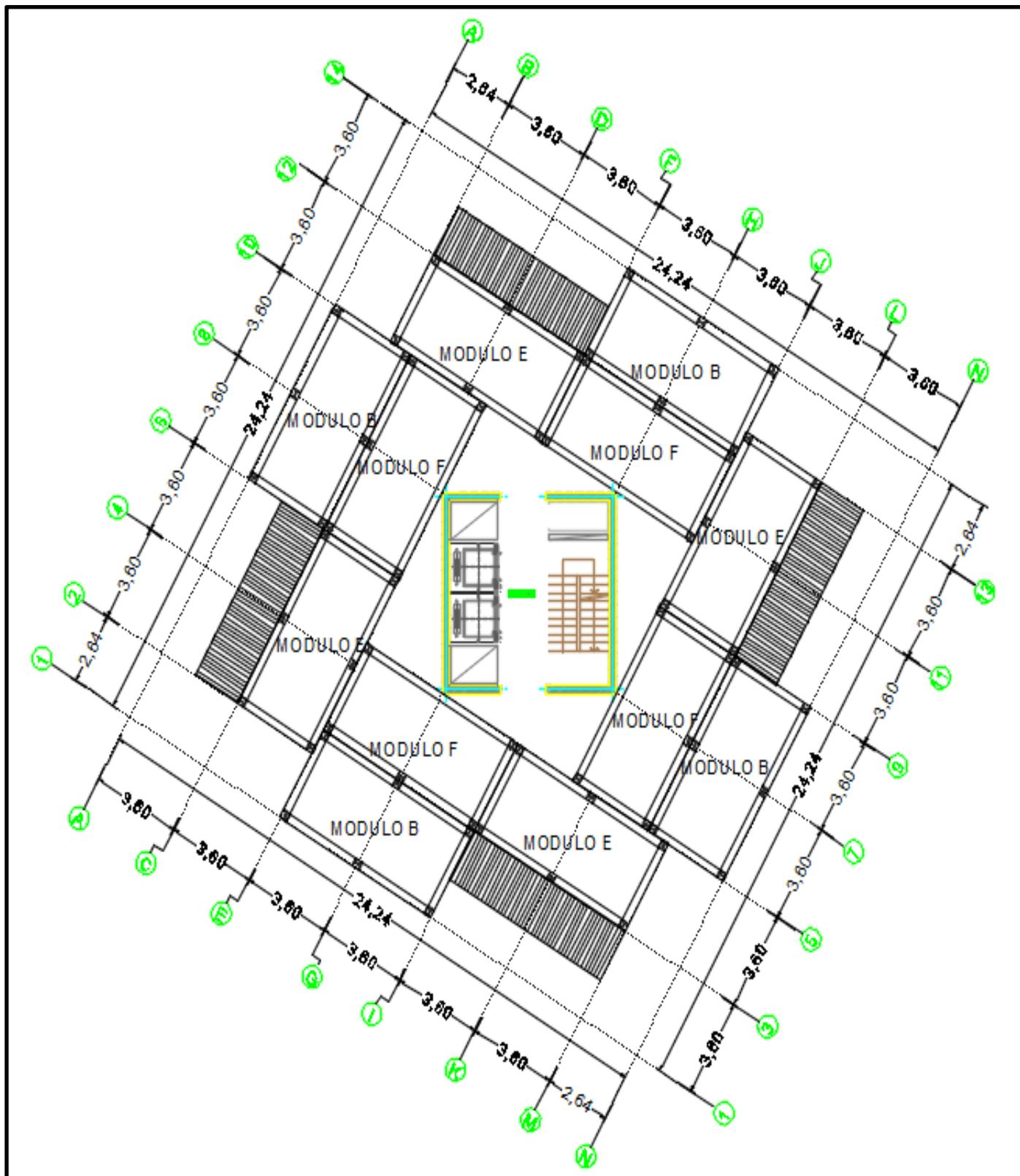
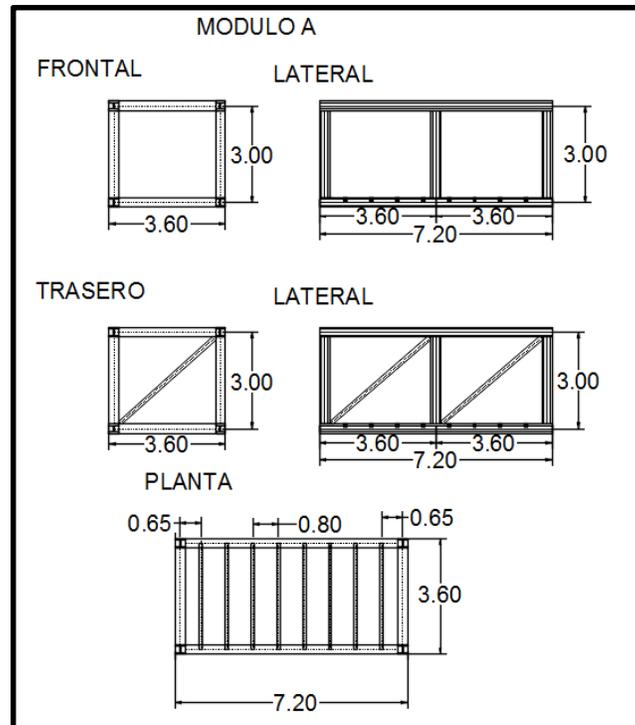
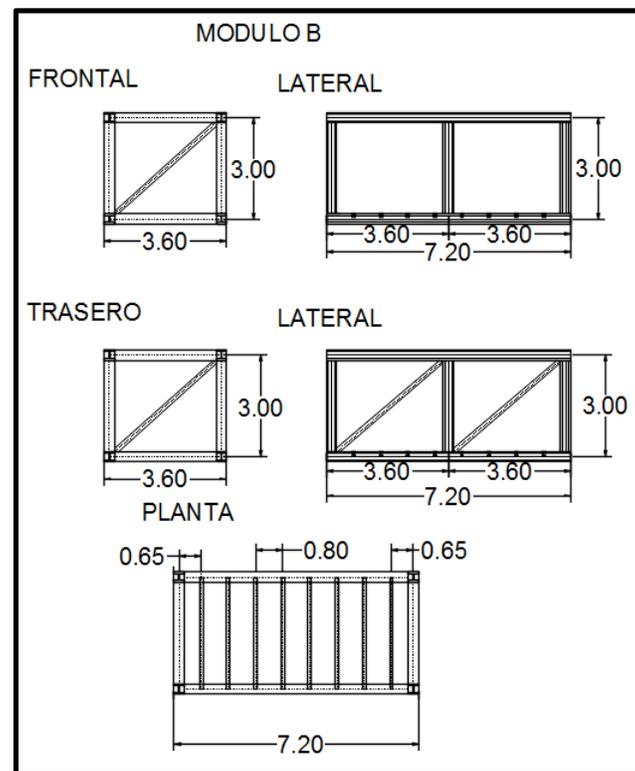


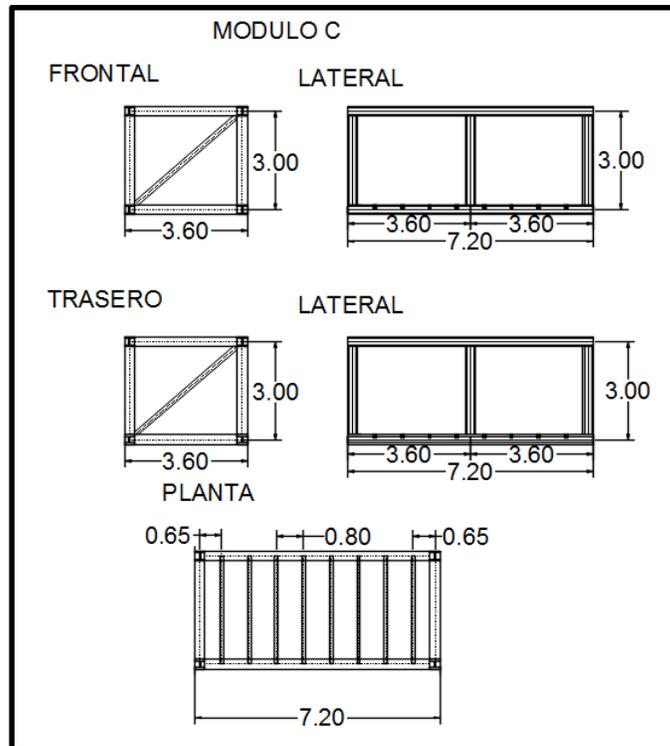
Figura 63: Distribución Tipos de Módulos Planta Oblicua



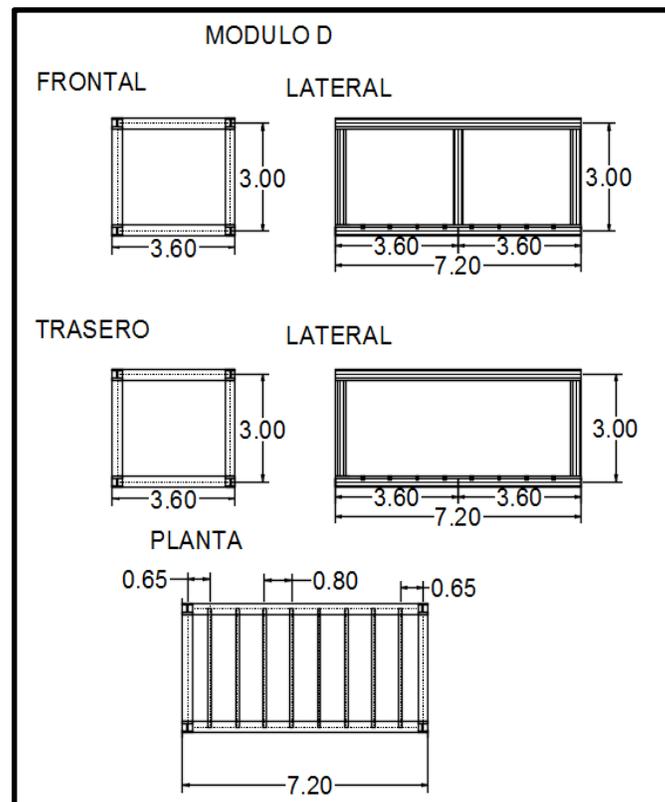
**Figura 64: Modulo Tipo A**



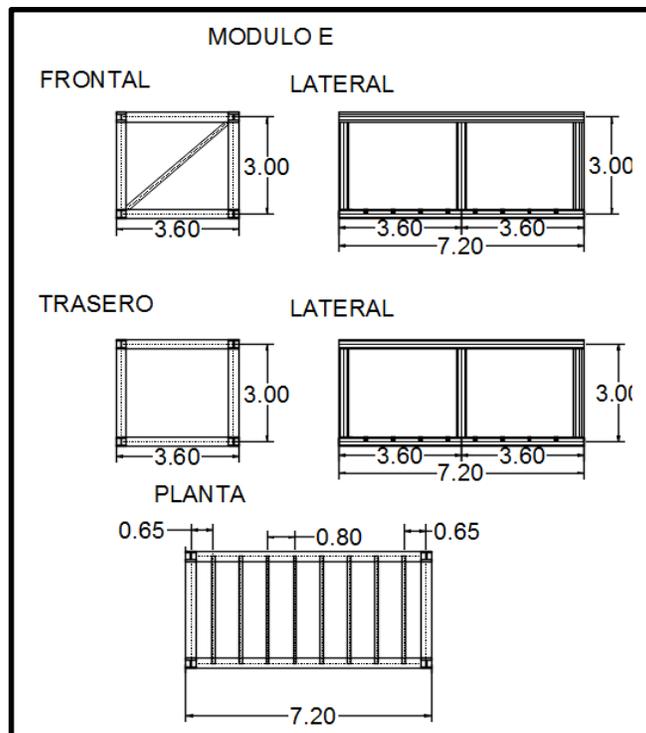
**Figura 65: Modulo Tipo B**



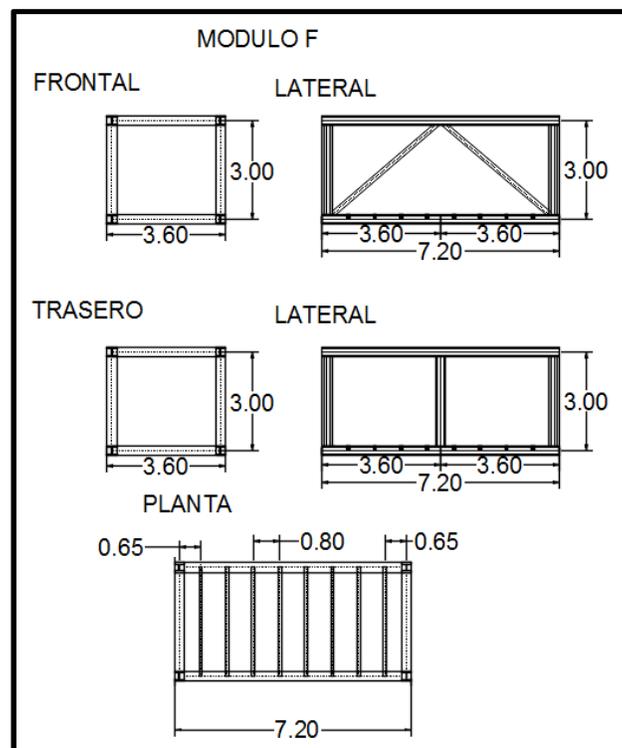
**Figura 66: Modulo Tipo C**



**Figura 67: Modulo Tipo D**



**Figura 68: Modulo Tipo E**



**Figura 69: Modulo Tipo F**

## CAPITULO V

### DISEÑO DE CONEXIONES MODULO-NÚCLEO DE EDIFICACION MODULAR PREFABRICADA

Para asegurar una total transmisión de fuerzas entre la estructura de acero conformada por los módulos y el núcleo de concreto reforzado es de gran importancia realizar un estudio detallado de las conexiones entre dichos elementos de la estructura. Tales conexiones son totalmente rígidas, de manera que no permitan alteraciones en los ángulos entre los miembros que se interceptan, y haya una total transmisión de las distintas fuerzas generadas.

Para llevar a cabo el diseño se tomaron en cuenta las fuerzas axiales, de corte y momento más desfavorables, de acuerdo a las combinaciones de carga, generadas en el punto donde se realizara la conexión. Se puede observar en las siguientes figuras los diagramas correspondientes a cada una de las fuerzas de diseño.

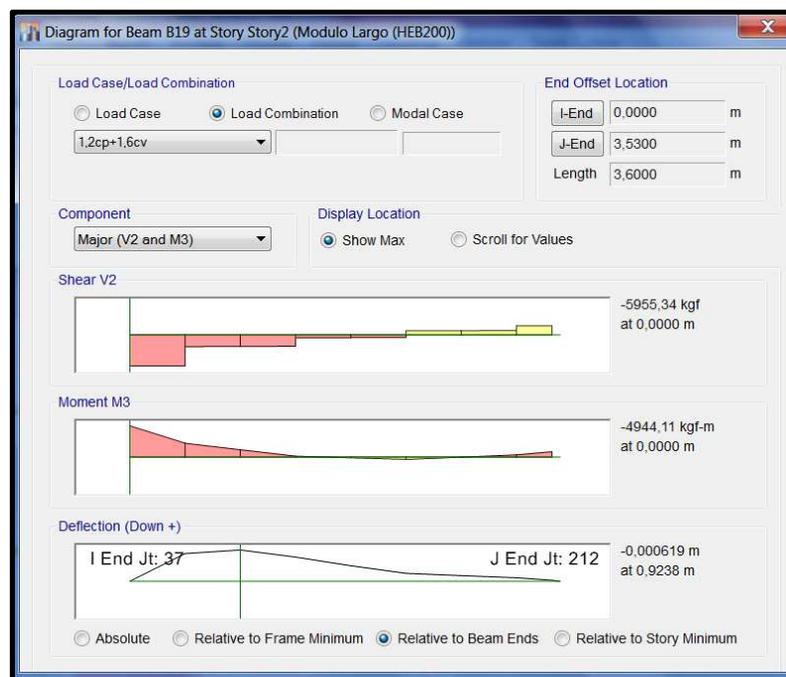


Figura 70: Momento M3 de Diseño Módulo Recto

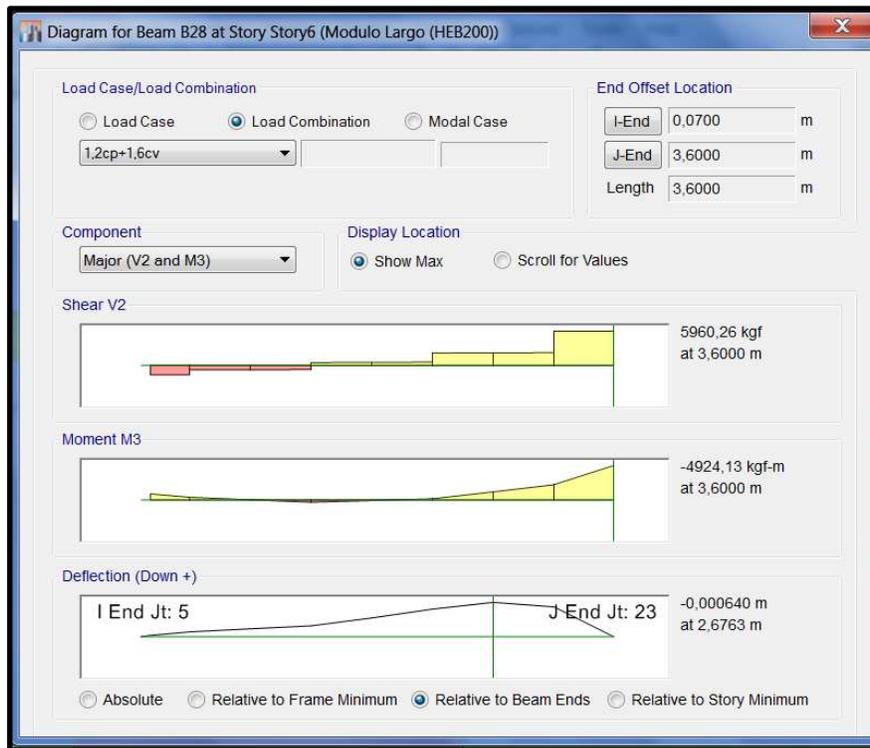


Figura 71: Corte V2 de Diseño Módulo Recto

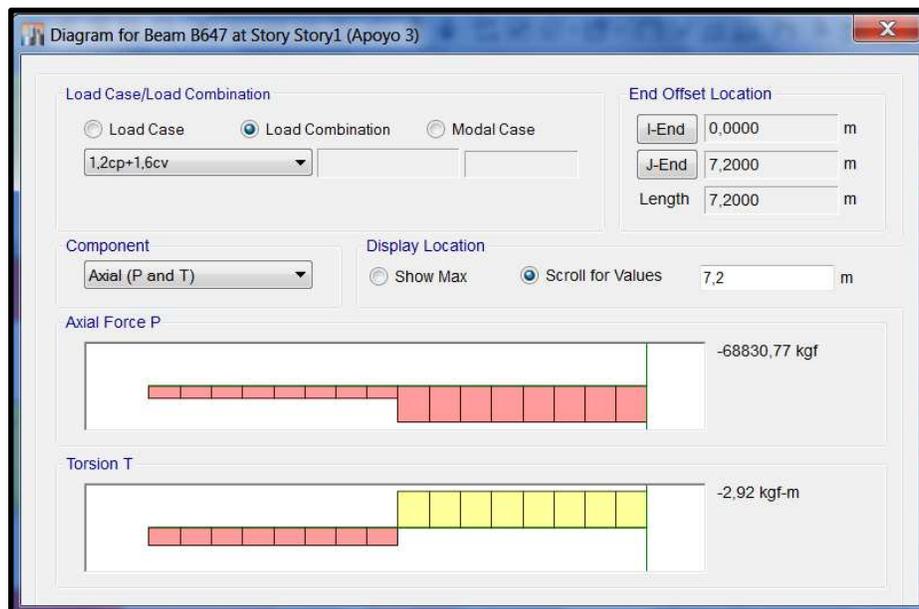


Figura 72: Fuerza Axial Pu de Diseño Piso Módulo Recto



Figura 73: Fuerza Axial Pu de Diseño Techo Módulo Recto

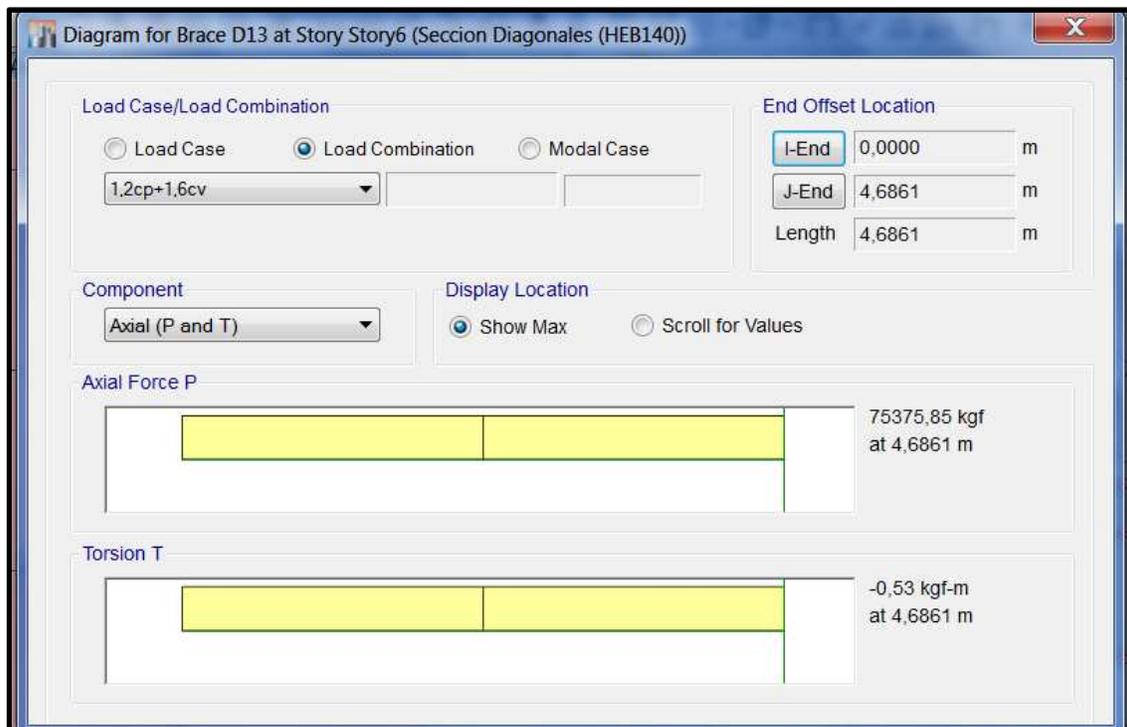


Figura 74: Fuerza Axial Pu de Diseño Diagonal Recto

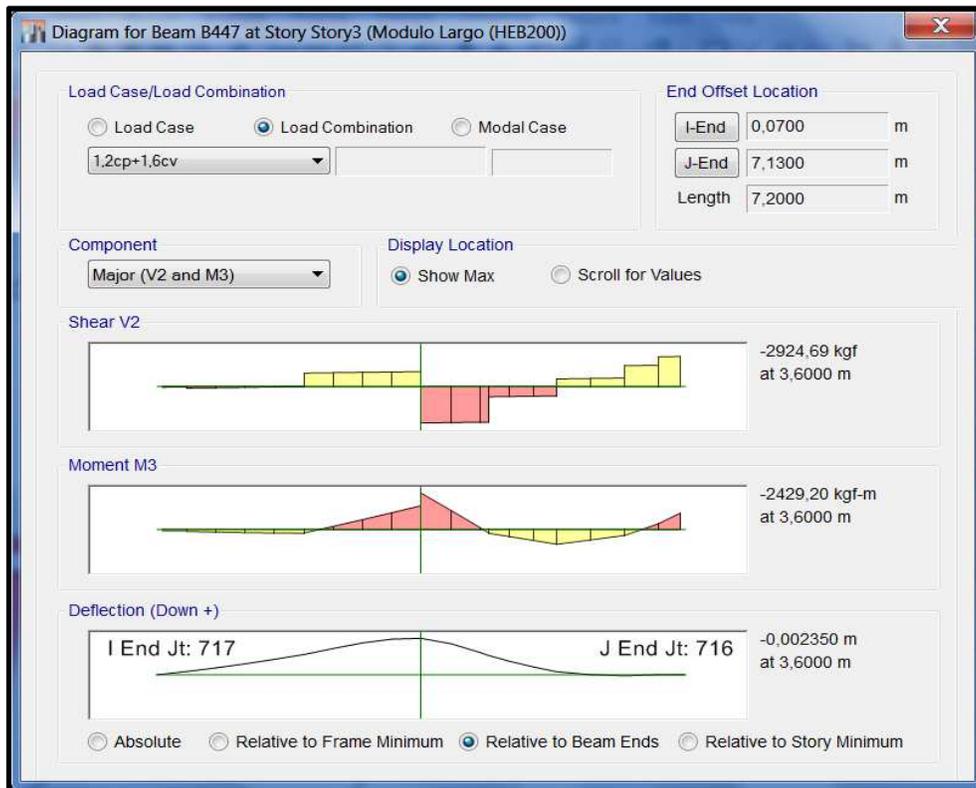


Figura 75: Momento M3 de Diseño Módulo Oblicuo.

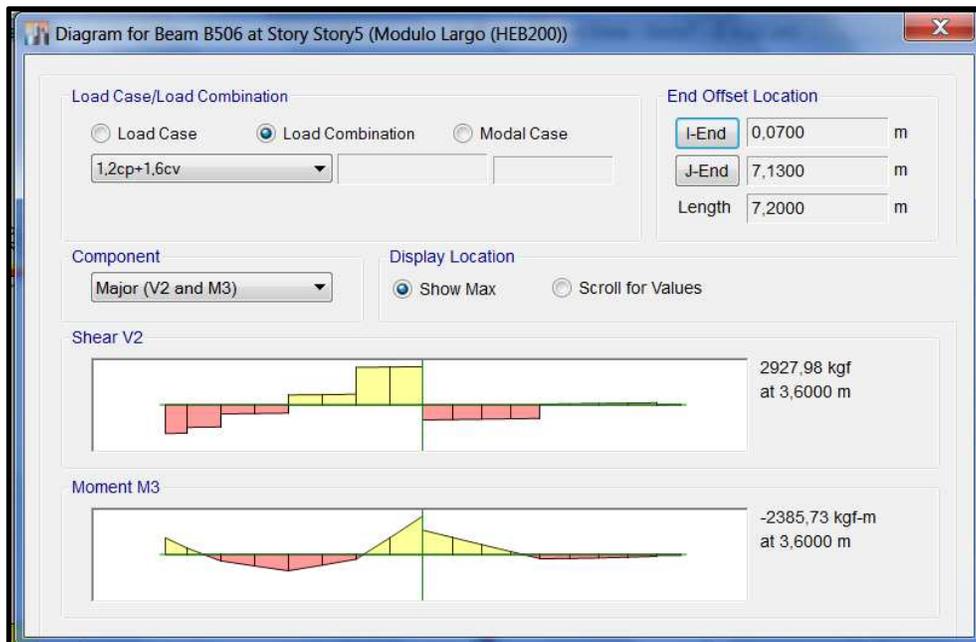


Figura 76: Corte V2 de Diseño Módulo Oblicuo.

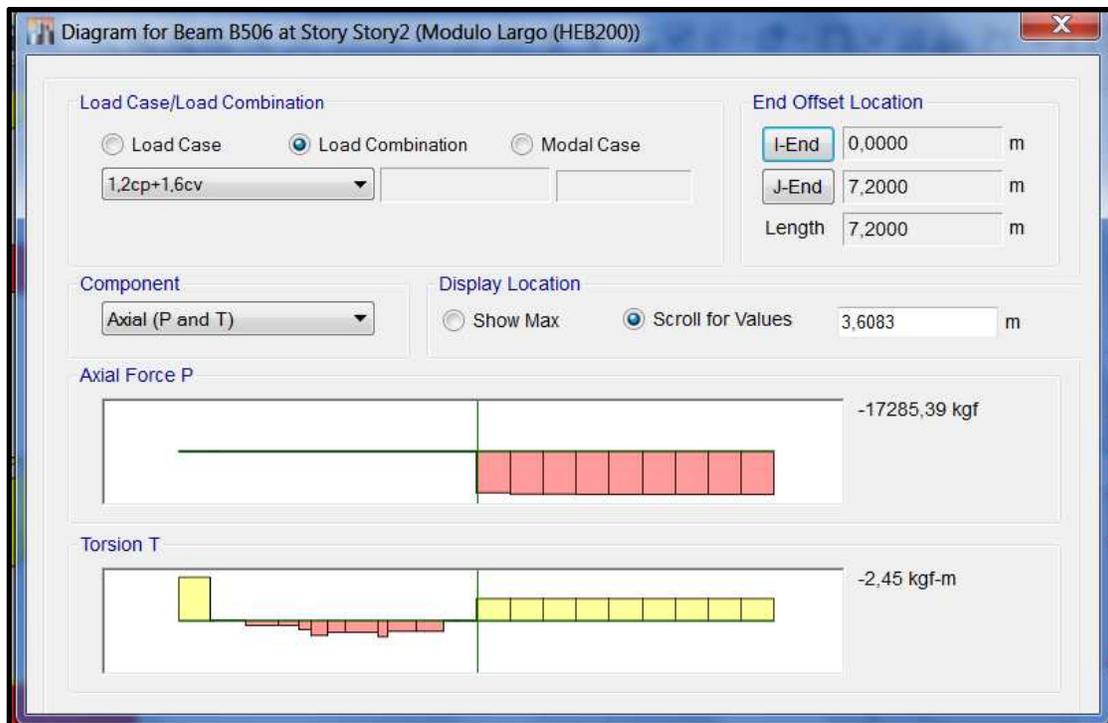


Figura 77: Fuerza Axial Pu de Diseño Piso Módulo Oblicuo

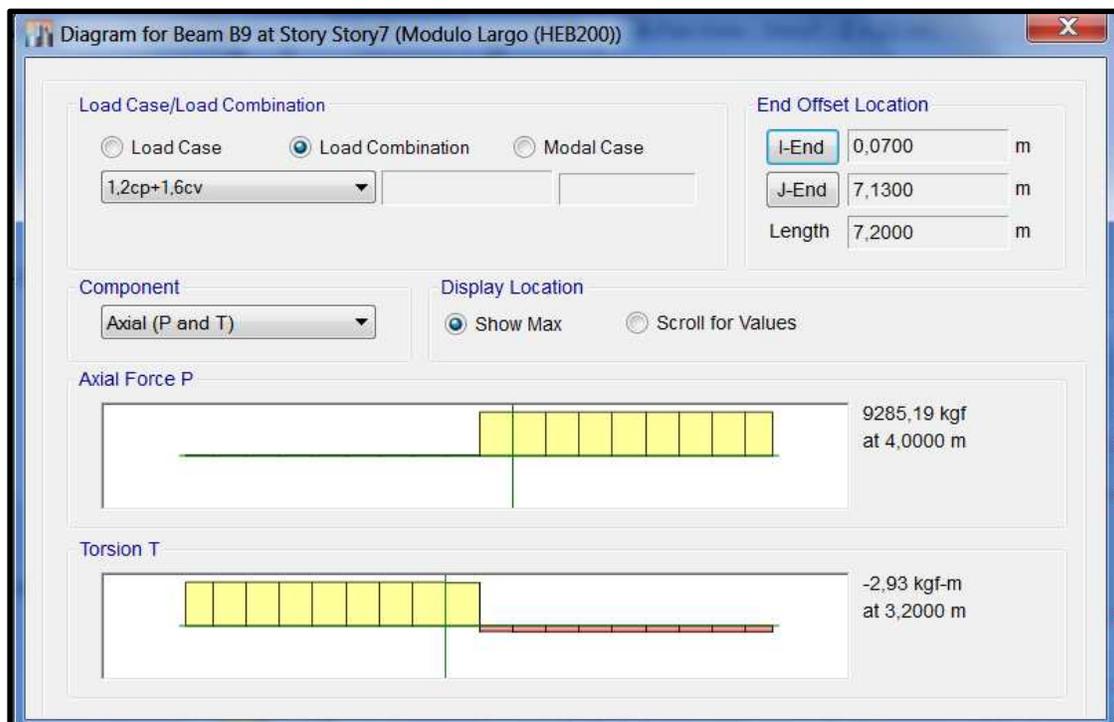
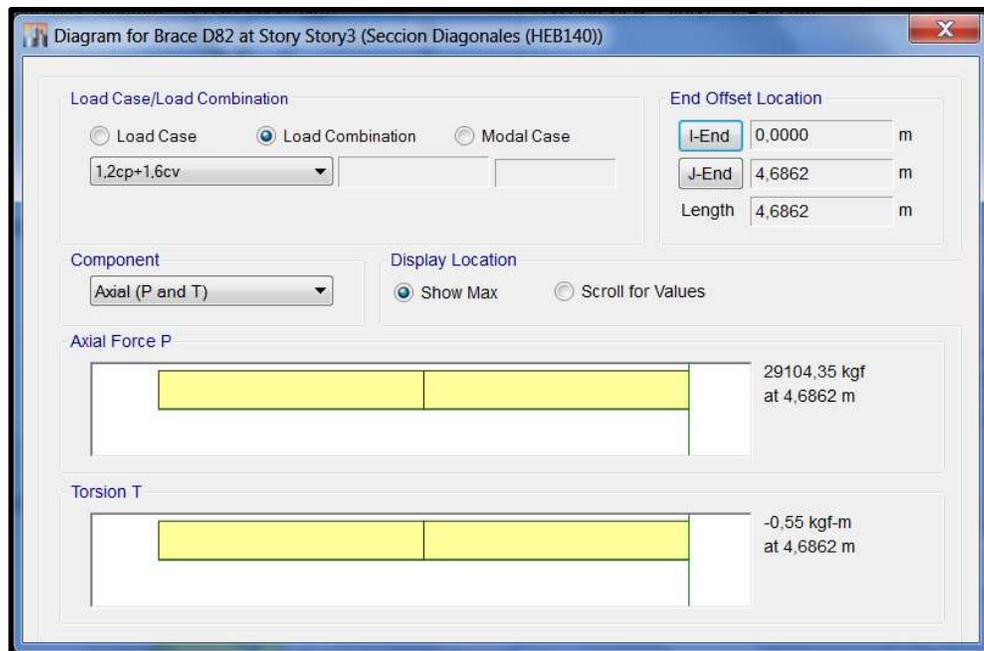


Figura 78: Fuerza Axial Pu de Diseño Techo Módulo Oblicuo



**Figura 79: Fuerza Axial Pu de Diseño Diagonal Oblicuo**

Ahora bien, dicha conexión está conformada por una plancha de acero la cual se encuentra conectada al núcleo de concreto y a la cual se soldara los perfiles a conectar, la misma abarcará tanto las vigas principales como las diagonales de una planta como las vigas principales de la planta superior.

La conexión entre la plancha y el nucleo de concreto será realizada mediante barras roscadas como la que se muestra en la figura 80. Se utilizara acero A193 Grado B7.



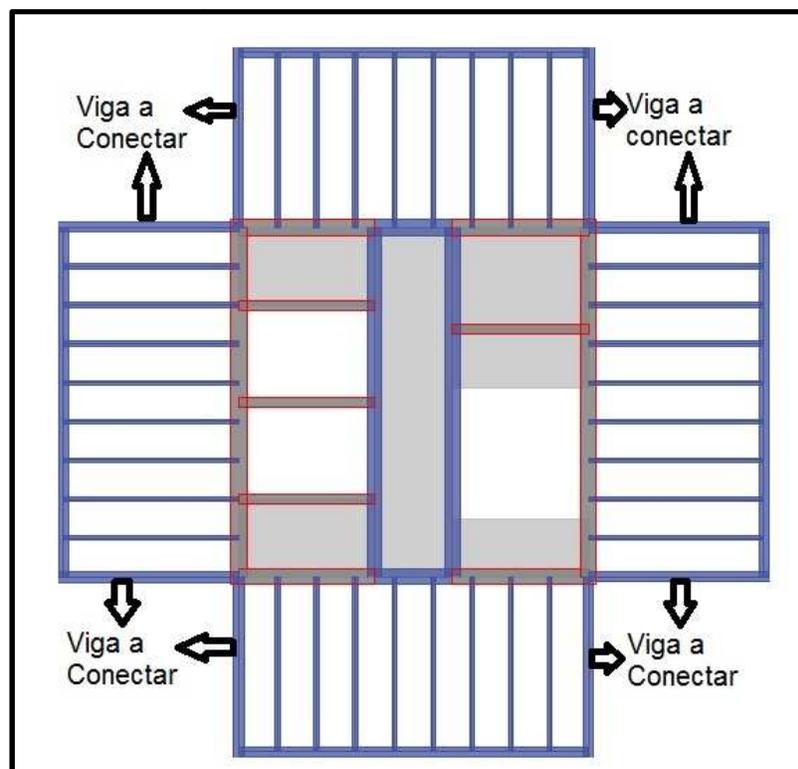
**Figura 80: BarraRoscada**  
Fuente: Portland Bolt.

| A193 Mechanical Properties |             |                  |                 |               |          |         |        |
|----------------------------|-------------|------------------|-----------------|---------------|----------|---------|--------|
| Grade                      | Size        | Tensile ksi, min | Yield, ksi, min | Elong, %, min | RA % min | HBW     | HRC    |
| B7                         | Up to 2-1/2 | 125              | 105             | 16            | 50       | 321 max | 35 max |
|                            | 2-5/8 - 4   | 115              | 95              | 16            | 50       |         |        |
|                            | 4-1/8 - 7   | 100              | 75              | 18            | 50       |         |        |

**Figura 81: Propiedades Barra Roscada**

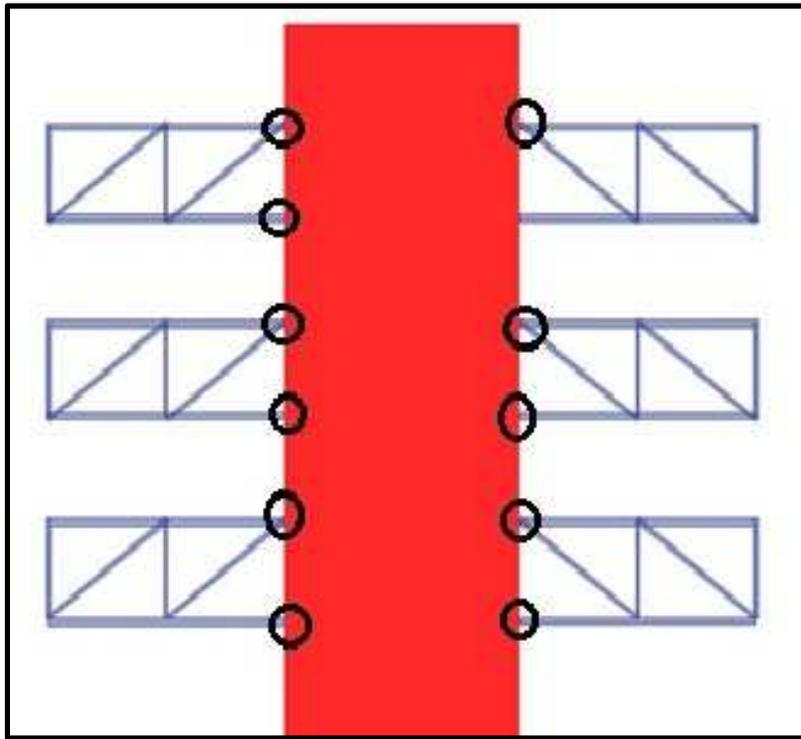
En otro orden de ideas, los módulos deben estar en contacto verticalmente, es decir el techo del módulo recto con el piso del módulo oblicuo y viceversa, de manera de asegurar la vinculación total entre módulos en cada piso.

En el caso de los módulos que se encuentran ubicados en la planta recta, las vigas a conectar con el núcleo forman un ángulo de 90° con respecto al mismo, como se muestra en la figura 82.



**Figura 82: Módulos a Conectar con Núcleo Planta Recta.**

A su vez, como se puede observar en la figuras 83 y 84 de los pórticos, en el primer piso únicamente debe ser conectada a la plancha la viga principal del módulo a conectar, por lo que el proceso de soldadura de dicha plancha con el modulo debe ser llevado a cabo en el lugar de ensamblaje de los módulos para garantizar la mejor calidad posible. Posteriormente será acoplada al núcleo mediante el uso de barras roscadas de alta resistencia.



**Figura 83: Pórtico de Conexión Planta Recta 1.**

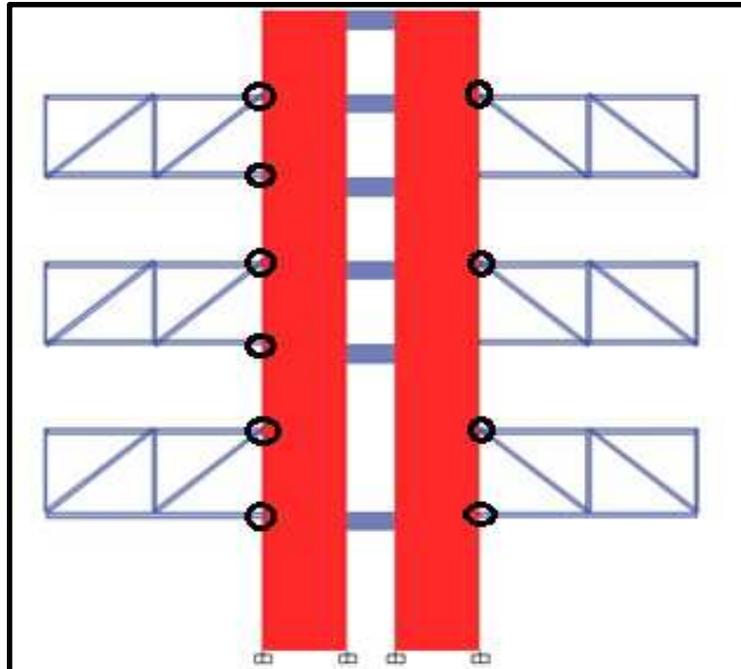


Figura 84: Pórtico de Conexión Planta Recta 2.

Por otra parte los módulos que se encuentran ubicados en la planta oblicua, es decir en los pisos 2, 4 y 6, las vigas a conectar con el núcleo forman un ángulo de  $60^\circ$  o  $30^\circ$  con respecto al núcleo, como se ilustra a continuación.

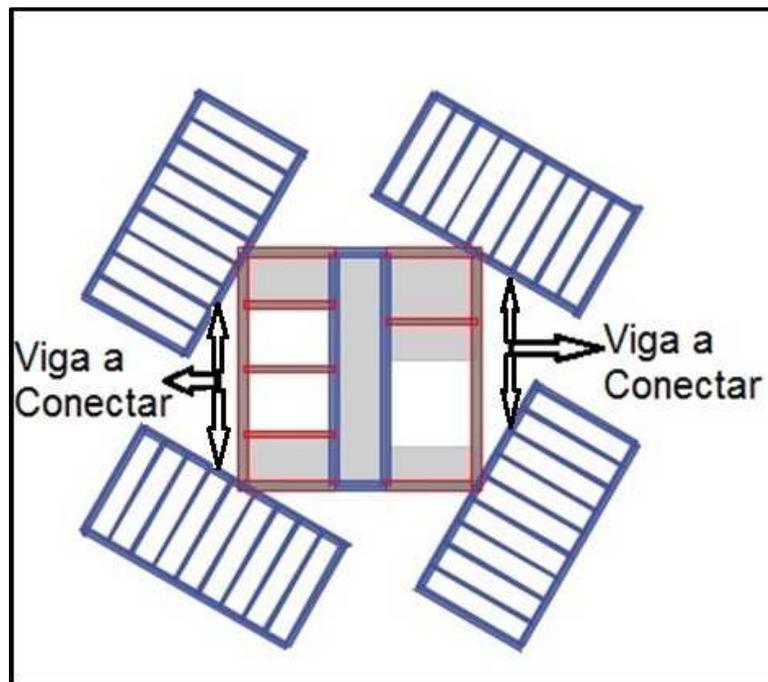
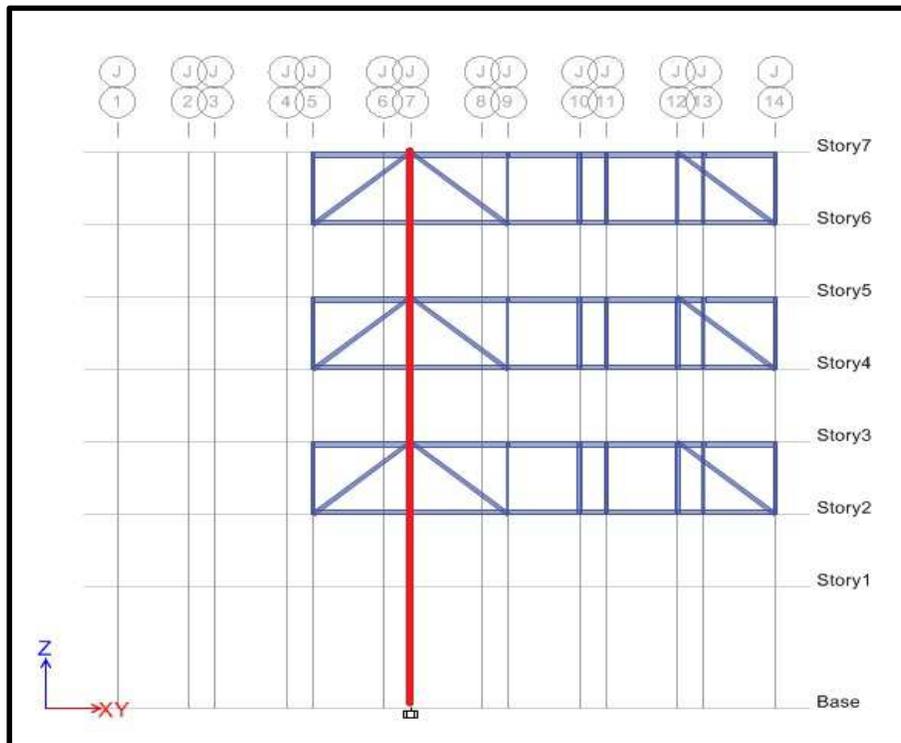


Figura 85: Módulos a Conectar con Núcleo Planta Oblicua.



**Figura 86: Pórtico de Conexión Planta Oblicua.**

Como se puede observar en las figura 86 de los pórticos, en los pisos 2,4 y 6 se debe conectar a la plancha que se conectara al muro la viga principal y la diagonal de la parte superior del módulo recto más la viga principal inferior del módulo oblicuo, mientras que en los pisos 3 y 5 la conexión consta de la viga principal y la diagonal del techo de los módulos oblicuos más la viga principal del piso de los módulos rectos, por lo que para su diseño deben ser consideradas todas las acciones combinadas dependiendo de la sollicitación de cada elemento a conectar.

Finalmente, en el techo de la estructura únicamente deben ser conectadas al muro la viga principal y la diagonal del techo de los módulos oblicuos que conforman el piso 6.

Ahora bien, el proceso de la soldadura de la plancha a los elementos superiores de los módulos debe ser realizado en el lugar de ensamblaje, de manera de

garantizar la mejor calidad posible como se mencionó anteriormente, y a su vez, en el proceso de montaje en campo a medida que se van acoplando los módulos al muro, estos sirven de apoyo para el piso siguiente.

### 5.1 Procedimiento de Cálculo de la Soldadura

Con respecto a la soldadura, se llevaron a cabo dos tipos para dicha conexión, en las alas del perfil se diseñó con una soldadura de penetración completa, la misma se caracteriza por tener la misma resistencia que la plancha a la cual está siendo conectada, es por esto que no se requiere llevar a cabo el cálculo de la misma debido a que ya califica. Por otra parte en el alma se llevó a cabo el uso de una soldadura de filete.

La Norma COVENIN 1618:1998<sup>18</sup>, establece una capacidad única de la soldadura en cualquier dirección de  $0,6F_u$  y un factor de minoración de la resistencia teórica  $\Phi$  de  $0,75$  para las soldaduras de filete, por lo que se tiene,

$$\Phi \text{Resistencia Teorica} \leq 0,75 * 0,6 * F_u$$

A su vez la norma AISC 360-10 señala que el área efectiva de una soldadura de filete es la longitud efectiva multiplicada por la garganta efectiva, por lo tanto,

$$\Phi F_r \leq 0,75 * 0,6 * F_u * L * t_e$$

Y se tiene que:

$$t_e = 0,707D$$

Entonces,

$$\Phi F_r \leq 0,75 * 0,6 * F_u * L * 0,707D$$

---

<sup>18</sup> Norma venezolana COVENIN 1618:1998. Capítulo 23. Soldaduras.

Donde,

$Fr = \text{Fuerza Resultante}$

$te = \text{Garganta efectiva de la soldadura}$

$D = \text{Tamaño de la soldadura}$

$L = \text{longitud de la soldadura}$

Al mismo tiempo, se considera la combinación de las fuerzas actuantes en cualquier dirección, de manera que,

$$Fr^2 = (Fx^2 + Fy^2 + Fz^2)$$

Donde  $Fx$ ,  $Fy$  y  $Fz$  son las fuerzas a las cuales está sometida la soldadura en las distintas direcciones.

Finalmente, despejando  $L$  se tiene que,

$$0,75 * 0,6 * Fu \geq \sqrt{\left(\frac{Fx}{0,707D * L}\right)^2 + \left(\frac{Fy}{0,707D * L}\right)^2}$$

$$L = \frac{\sqrt{Fx^2 + Fy^2 + Fz^2}}{0,31815D * Fu}$$

## 5.2 Procedimiento de Cálculo Barras Roscadas

En lo referente a las barras roscadas, se diseñaron según lo establecido en la norma COVENIN 1618-1998<sup>19</sup>. Dichas conexiones son del tipo de deslizamiento crítico, para evitar los deslizamientos de los elementos.

En primer lugar, la norma establece que se debe verificar la resistencia al aplastamiento tanto en las conexiones tipo aplastamiento como en las de

<sup>19</sup> Norma venezolana COVENIN 1618-1998. Capítulo 22. Pernos y Partes Roscadas.

deslizamiento crítico. Se tiene que la resistencia al aplastamiento  $\Phi R_t$ , cuando la deformación en el agujero del perno sometido a solicitaciones de servicio es una consideración de diseño, está dado por la siguiente formula:

$$\Phi R_t = 1,2L_c * t * F_u \leq 2,4d * t * F_u$$

Donde,

*F<sub>u</sub> = Resistencia mínima de agotamiento en tracción.*

*L<sub>c</sub> = Distancia libre en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o al borde del material.*

*d = Diámetro nominal del perno.*

*t = Espesor de la parte conectada.*

Por otra parte, Debido a que dichos elementos se encuentran bajo el efecto de acciones combinadas, las mismas deberán cumplir con las ecuaciones establecidas a continuación.

- **Estado Límite de Servicio.**

Se tiene que la resistencia minorada al corte de la barra roscada es la siguiente,

$$\Phi R = 1 * F_v * A_b$$

Y esta debe ser multiplicada por un factor de reducción de acuerdo a la magnitud de la fuerza a tracción a la cual se encuentra solicitada la barra roscada,

$$\left(1 - \frac{T_{sb}}{0.8 * T_b * n_b}\right)$$

Finalmente se tiene que,

$$\phi R = 1 * Fv * Ab * \left(1 - \frac{Tsb}{0.8 * Tb * nb}\right)$$

- **Estado Límite de Resistencia.**

Se tiene que la resistencia minorada al corte de la barra roscada es la siguiente,

$$\phi R = 0.75 * Fv * Ab$$

Y esta debe ser multiplicada por un factor de reducción de acuerdo a la magnitud de la fuerza a tracción a la cual se encuentra solicitada la barra roscada,

$$\left(1 - \frac{Tub}{1.13 * Tb * nb}\right)$$

Finalmente,

$$\phi R = 0.75 * Fv * Ab * \left(1 - \frac{Tub}{1.13 * Tb * nb}\right)$$

Donde,

$Tb$  = Carga mínima de pretensión

$Nb$  = Numero de Barras que soportan la tracción, de servicio o mayorada.

$Fv$  = Tensión Teórica a corte en conexiones de deslizamiento crítico.

$Tsb$  = Fuerza de Tracción por Carga de Servicio Actuante.

$Tub$  = Fuerza de Tracción por Carga Mayorada Actuante.

A su vez, se deberá cumplir en todo momento con la siguiente condición, para garantizar la capacidad resistente de las barras.

$$\phi R > \frac{\text{Corte Actuante}}{nb}$$

En el caso que el elemento se encuentre sometido a compresión, se debe cumplir la siguiente condición,

$$\text{Fuerza Compresión} * \mu > 1.5 * \text{Corte Actuante}$$

Donde,

$\mu$  = Coeficiente de Fricción (0,33).

Posteriormente se procedió a realizar el diseño de la plancha de conexión, mediante el procedimiento establecido en el artículo 21.15 de la norma. Se tiene que la resistencia minorada a la tracción del elemento de conexión,  $\phi R$ , es el menor valor obtenido de analizar los siguientes estados límites de agotamiento resistente.

- **Cedencia por Tracción**

$$R_t = A * f_y$$

$$\phi = 0,90$$

- **Rotura por Tracción**

$$R_n = A_n * f_u$$

$$\phi = 0,75$$

El área neta estará limitada al valor de  $A_n \leq 0,85A$ .

- **Rotura por bloque de corte**

- a) Cuando  $F_u * Ant \geq 0,6F_u * Anv$  el mecanismo de falla es de cedencia por corte y fractura por tracción.

$$\phi R_{bs} = \phi(0,6F_y * A_v + F_u * Ant)$$

- b) Cuando  $F_u * Ant < 0,6F_u * Anv$  el mecanismo de falla es de cedencia por tracción y fractura por corte.

$$\phi R_{bs} = \phi(0,6F_u * Anv + F_y * At)$$

- c) En todos los casos  $\phi R_{bs} \leq \phi(0,6F_u * Anv + F_y * At)$

Donde,

*Ant = Area neta traccionada*

*Anv = Area neta sometida a corte*

*At = Area total traccionada*

*Av = Area total sometida a corte*

$\phi = 0,75$

- **Resistencia al aplastamiento**

Debido a que la conexión inferior de los módulos se encuentra a compresión se debe chequear el aplastamiento que ejerce la plancha sobre el núcleo de concreto. La norma establece que la resistencia al aplastamiento de los miembros de conexión en apoyos de concreto viene dado por la siguiente formula:

$$N_p = 0,85f'_c * A_1$$

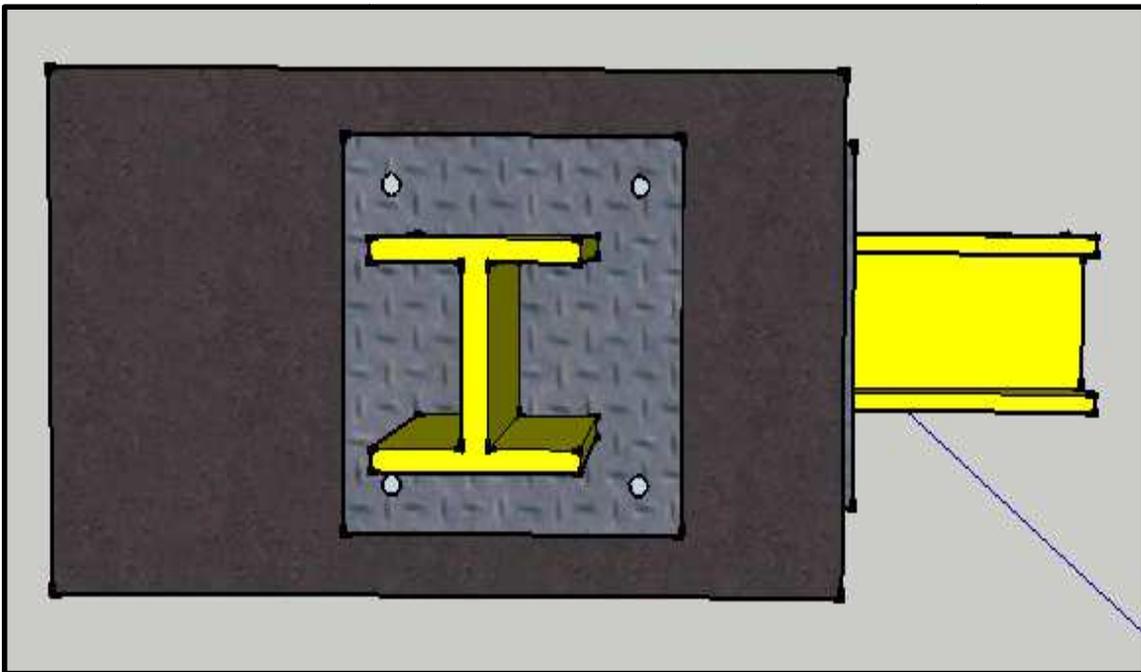
Donde,

$f_c$  = Resistencia especificada del concreto a la compresión.

$A_1$  = Área de contacto del acero que descansa concéntricamente sobre un apoyo de concreto.

### 5.3 Conexión Modulo-Núcleo Piso 1

A continuación se muestra la conexión planteada.



**Figura 87: Conexión Inferior Módulo-Núcleo Planta Recta.**

Aplicando el procedimiento antes mencionado para el cálculo de la soldadura, se obtuvo la siguiente longitud requeridas de soldadura de filete para cada conexión, mostrada en la tabla N°26.

Tabla N°26: **Cálculos Soldadura Conexión Planta Recta.**

| Soldadura Conexión Piso<br>Modulo Planta Recta |           |
|--|-----------|
| Fuerzas de Diseño                              |           |
| Vu (Kgf)                                       | Pu (Kgf)  |
| 5960,26  | -68830,77 |

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| D (mm)                       | 16,00     |
| te (mm)                      | 11,31     |
| Soldadura                    | E60       |
| Fx/L                         | 2634,49   |
| Fy/L                         | -30423,78 |
| Fr/L                         | 30537,64  |
| Fu<br>(Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00   |
| L (cm)                       | 16,16     |

Posteriormente, para realizar el diseño de la plancha de conexión con las barras roscadas se utilizaron las solicitaciones obtenidas por cargas de servicio y mayoradas, según el caso.

Tabla N°27: **Solicitaciones Planta Recta.**

| Solicitaciones de Diseño<br>Mayoradas Modulo Recto<br>Piso 1 |       | Solicitaciones de Diseño por<br>Servicio Modulo Recto Piso<br>1 |       |
|--|-------|---|-------|
| Mu (Kgf-m)   | 5000  | Mu (Kgf-m)  | 3700  |
| Vu (Kgf)   | 6000  | Vu (Kgf)  | 4400  |
| Fcomp (Kgf)  | 68900 | Fcomp (Kgf)   | 51200 |

Mediante el procedimiento mencionado anteriormente para este diseño, se obtuvo que se requiere una plancha de 60cmx75cm y de 25mm de espesor con 16 barras roscadas de  $\phi 1\frac{1}{8}$  , como se muestra en la siguiente figura.

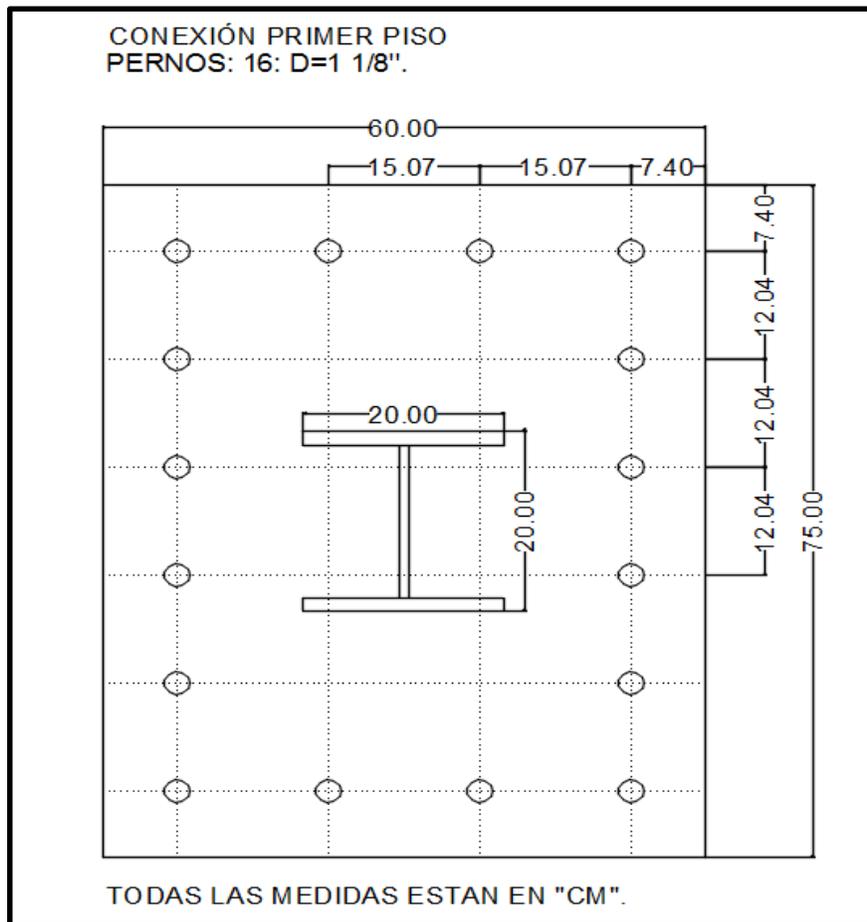


Figura 88: Detalle de Conexión Inferior Módulo-Núcleo Planta Recta.

Se muestra en las siguientes tablas los resultados obtenidos.

Tabla N°28: **Cálculos Conexiones Apernadas en las Plantas Rectas.**

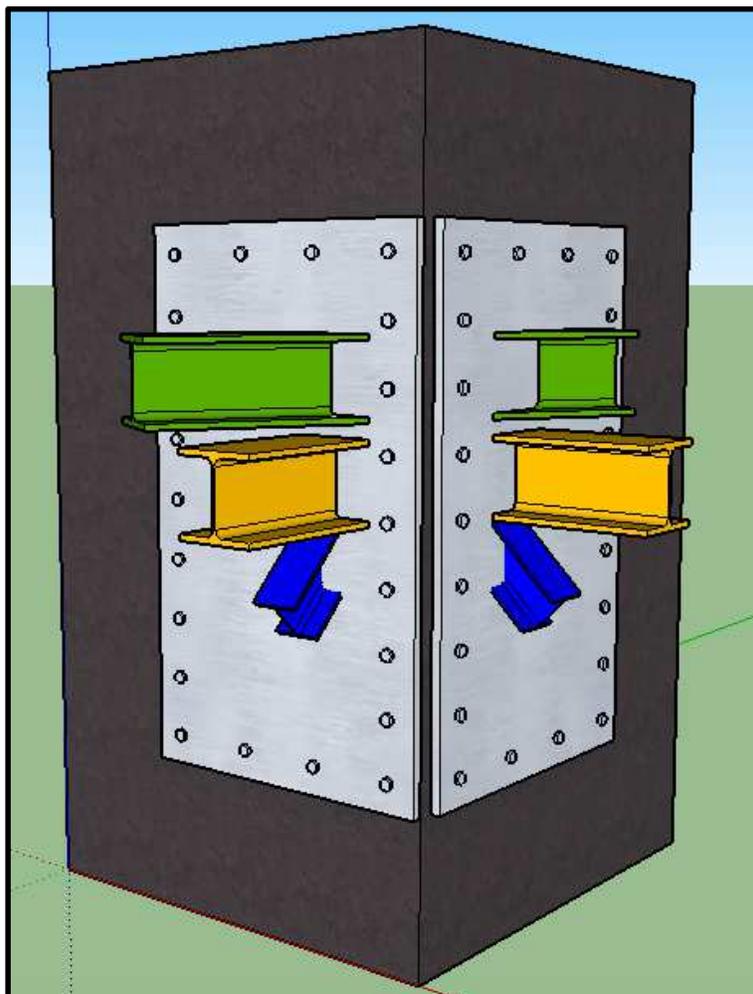
| <b>Barras Roscadas</b>  |         |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
|---|---------|--------------------|------------|---------------|--------------------|--------------|-------------------------|----|---------|---|---------|---------------|
| Portland Bolt Anchor Rod<br>A193 Grado B7   |         |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>PLANTA RECTA</b>   |         |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Estado Limite de Servicio</b>  |         |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Ap (1 1/8")</b>  | 6,41    | cm <sup>2</sup>    | <b>Tsb</b> | 51200         | kg                 | <b>Nb</b>    | 16                      |    |         |   |         |               |
| <b>Fv</b>   | 3370    | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Tb</b>  | 4612          | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Fu</b>    | 8785 kg/cm <sup>2</sup> |    |         |   |         |               |
| <b>V act</b>  | 4000    | Kg                 |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">ΦR</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">2867,00</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">&gt;</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">250,00</td> <td style="width: 25%; text-align: center;"><b>Cumple</b></td> </tr> </table> |         |                    |            |               |                    |              |                         | ΦR | 2867,00 | > | 250,00  | <b>Cumple</b> |
| ΦR  | 2867,00 | >                  | 250,00     | <b>Cumple</b> |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Estado Limite de Agotamiento Resistente</b>  |         |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Ap (1 1/8")</b>  | 6,41    | cm <sup>2</sup>    | <b>Tub</b> | 68900         | kg                 | <b>Nb</b>    | 16                      |    |         |   |         |               |
| <b>Fv</b>   | 3370    | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Tb</b>  | 4612          | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Fu</b>    | 8785 kg/cm <sup>2</sup> |    |         |   |         |               |
| <b>V act</b>  | 6000    | Kg                 |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">ΦR</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">2814,72</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">&gt;</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">375,00</td> <td style="width: 25%; text-align: center;"><b>Cumple</b></td> </tr> </table> |         |                    |            |               |                    |              |                         | ΦR | 2814,72 | > | 375,00  | <b>Cumple</b> |
| ΦR  | 2814,72 | >                  | 375,00     | <b>Cumple</b> |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Chequeo a Compresión</b>   |         |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>F. Compresión</b>  | 68900   | Kg                 |            |               |                    | <b>V act</b> | 6000 kg                 |    |         |   |         |               |
| <b>M</b>  | 0,33    |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">R</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">22737</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">&gt;</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">9000</td> <td style="width: 25%; text-align: center;"><b>Cumple</b></td> </tr> </table>      |         |                    |            |               |                    |              |                         | R  | 22737   | > | 9000    | <b>Cumple</b> |
| R   | 22737   | >                  | 9000       | <b>Cumple</b> |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Chequeo por Aplastamiento</b>  |         |                    |            |               |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Le</b>   | 7,15    | Cm                 | <b>Fu</b>  | 4080          | kg/cm <sup>2</sup> | <b>D</b>     | 2,86 cm                 |    |         |   |         |               |
| <b>E</b>  | 2,5     | Cm                 | <b>Φ</b>   | 0,75          |                    |              |                         |    |         |   |         |               |
| <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">ΦR</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">65637</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">≤</td> <td style="width: 25%; text-align: center;">70012,8</td> <td style="width: 25%; text-align: center;"><b>Cumple</b></td> </tr> </table>     |         |                    |            |               |                    |              |                         | ΦR | 65637   | ≤ | 70012,8 | <b>Cumple</b> |
| ΦR  | 65637   | ≤                  | 70012,8    | <b>Cumple</b> |                    |              |                         |    |         |   |         |               |

Tabla N°29: Cálculos Capacidades Resistente de las Planchas en las Plantas Rectas.

| PLANCHA PISO 1  |                         |
|-----------------|-------------------------|
| Acero           | A36                     |
| Espesor         | 25 mm                   |
| B               | 60 cm                   |
| H               | 75 cm                   |
| Cedencia        |                         |
| A               | 150 cm <sup>2</sup>     |
| Fy              | 3515 kg/cm <sup>2</sup> |
| Φ               | 0,9                     |
| ΦR              | 474525 kg               |
| Fractura        |                         |
| A nom           | 150 cm <sup>2</sup>     |
| A agujeros      | 30,6 cm <sup>2</sup>    |
| Ae              | 127,5 cm <sup>2</sup>   |
| Fu              | 4080 kg/cm <sup>2</sup> |
| Φ               | 0,75                    |
| ΦR              | 390150 kg               |
| Bloque de Corte |                         |
| Ant             | 60,7 cm <sup>2</sup>    |
| Anv             | 122,53 cm <sup>2</sup>  |
| Fy              | 3515 kg/cm <sup>2</sup> |
| Fu              | 4080 kg/cm <sup>2</sup> |
| Φ               | 0,75                    |
| Fu*Ant          | 247656 kg               |
| 0.6*Fu*Anv      | 299941 kg               |
| At              | 75 cm <sup>2</sup>      |
| Av              | 169 cm <sup>2</sup>     |
| ΦR              | 422675 kg               |
| Aplastamiento   |                         |
| f'c             | 400 Kgf/cm <sup>2</sup> |
| A1              | 4500 cm <sup>2</sup>    |
| Φ               | 0,6                     |
| Np              | 918000 Kgf              |

#### 5.4 Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior

La conexión planteada es la siguiente:



**Figura 89: Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.**

Aplicando el procedimiento antes mencionado para el cálculo de la soldadura, se obtuvieron las siguientes longitudes requeridas de soldadura para cada conexión, mostradas en la tabla N°30.

Tabla N°30: **Cálculos Soldadura Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.**

| Soldadura Conexión Viga Principal Techo Modulo Planta Recta |          | Soldadura Conexión Diagonal Techo Modulo Planta Recta |          | Soldadura Conexión Piso Modulo Planta Oblicua |               |
|---|----------|---|----------|---|---------------|
| Fuerzas de Diseño   |          | Fuerzas de Diseño                                     |          | Fuerzas de Diseño                             |               |
| Vu (Kgf)  | Pu (Kgf) | Vu (Kgf)  | Pu (Kgf) | Vu (Kgf)                                      | Pu (Kgf)      |
| 5960,26   | 23376,26 | 5960,26   | 75375,85 | 2927,98                                       | -<br>17285,39 |

|                           |          |                           |          |                           |               |
|---------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------|---------------|
| D (mm)                    | 10,00    | D (mm)                    | 22,00    | D (mm)                    | 10,00         |
| te (mm)                   | 7,07     | te (mm)                   | 15,55    | te (mm)                   | 7,07          |
| Soldadura                 | E60      | Soldadura                 | E70      | Soldadura                 | E60           |
| Fx/L                      | 4215,18  | Fy/L                      | 1915,99  | Fy/L                      | 2070,71       |
| Fy/L                      | 16532,01 | Fx/L                      | 24230,37 | Fx/L                      | -<br>12224,46 |
| Fr/L                      | 17060,92 | Fr/L                      | 24306,01 | Fr/L                      | 12398,60      |
| Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00  | Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 2205,00  | Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00       |
| L (cm)                    | 9,03     | L (cm)                    | 11,02    | L (cm)                    | 6,56          |

**NOTA:** se debe seguir un procedimiento especial establecido en la norma American welding society debido al gran tamaño de la soldadura

Posteriormente, para realizar el diseño de la plancha de conexión con las barras roscadas se utilizaron las solicitaciones obtenidas por cargas de servicio y mayoradas, según el caso, considerando las solicitaciones tanto de la viga principal como de la diagonal a conectar en la plancha del módulo recto, y las de la viga principal del módulo oblicuo.

Tabla N°31: **Solicitaciones Conexión**

| Solicitaciones de Diseño Mayoradas Modulo Recto |        | Solicitaciones de Diseño por Servicio Modulo Recto |       | Solicitaciones de Diseño Mayoradas Modulo Oblicuo |       | Solicitaciones de Diseño por Servicio Modulo Recto |       |
|---|--------|--|-------|---|-------|--|-------|
| Mu (Kgf-m)                                      | 5000   | Mu (Kgf-m)   | 3700  | Mu (Kgf-m)  | 2500  | Mu (Kgf-m)   | 1800  |
| Vu-sup (Kgf)                                    | 54300  | Vu-sup (Kgf)                                       | 40300 | Vu-sup (Kgf)                                      | 21600 | Vu-sup (Kgf)                                       | 16000 |
| Vu-inf (Kgf)                                    | 6000   | Vu-inf (Kgf)                                       | 4400  | Vu-inf (Kgf)                                      | 3000  | Vu-inf (Kgf)                                       | 2200  |
| Ftrac-sup (Kgf)                                 | 107500 | Ftrac-sup (Kgf)                                    | 80000 | Ftrac-sup (Kgf)                                   | 44600 | Ftrac-sup (Kgf)                                    | 32900 |
| Fcomp-inf (Kgf)                                 | 68900  | Fcomp-inf (Kgf)                                    | 51200 | Fcomp-inf (Kgf)                                   | 17300 | Fcomp-inf (Kgf)                                    | 12800 |

Aplicando equilibrio de fuerzas en la plancha se obtuvo las siguientes solicitaciones finales.

Tabla N°32: **Solicitaciones Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.**

| Solicitaciones de Diseño Mayoradas Modulo Recto Sup-Modulo Oblicuo Inf |       | Solicitaciones de Diseño por Servicio Modulo Recto Sup-Modulo Oblicuo Inf |       |
|--|-------|---|-------|
| Vu (Kgf)   | 57300 | Vu (Kgf)  | 43300 |
| Ftrac (Kgf)  | 90200 | Ftrac (Kgf)   | 62700 |

Mediante el procedimiento mencionado anteriormente para este diseño, se obtuvo que en la conexión superior se requiere una plancha de 80cmx135cm y de 25mm de espesor con 22 barras roscadas de  $\phi 1\frac{1}{8}$  .

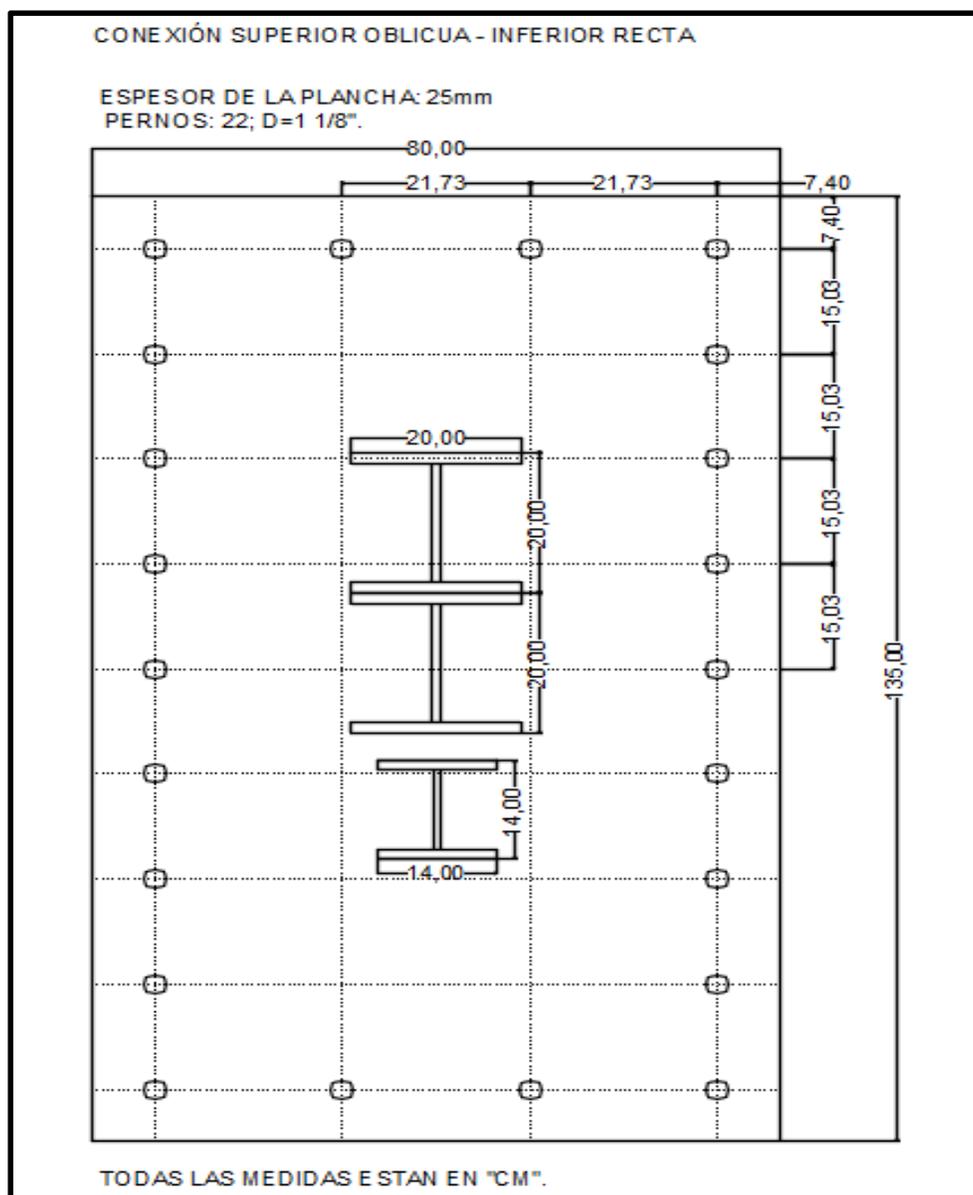


Figura 90: Detalle de la Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.

Tabla N°33: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.

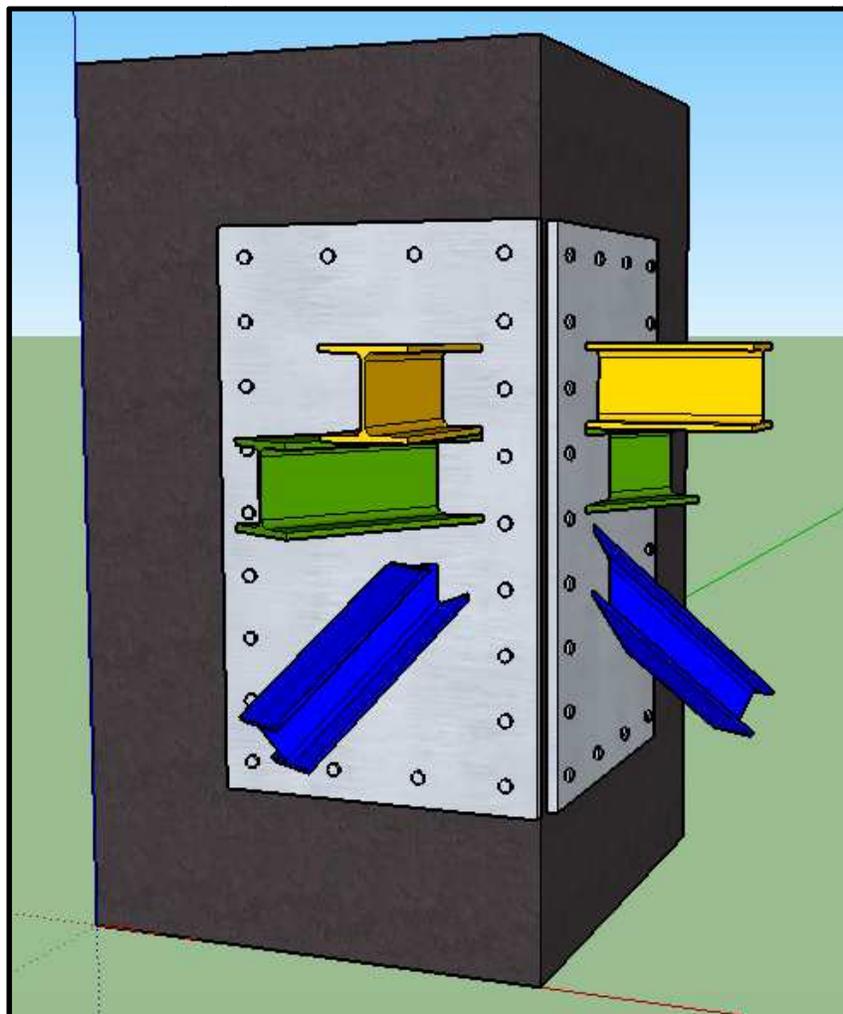
| Barras Roscadas  |         |                    |                      |               |                    |                                   |    |         |   |         |               |
|--|---------|--------------------|----------------------|---------------|--------------------|-----------------------------------|----|---------|---|---------|---------------|
| Portland Bolt Anchor Rod<br>A193 Grado B7  |         |                    |                      |               |                    |                                   |    |         |   |         |               |
| Conexión Superior Recta - Inferior Oblicua   |         |                    |                      |               |                    |                                   |    |         |   |         |               |
| Estado Limite de Servicio  |         |                    |                      |               |                    |                                   |    |         |   |         |               |
| <b>Ap (1 1/8")</b>   | 6,41    | cm <sup>2</sup>    | <b>Tsb</b>           | 62714         | kg                 | <b>Nb</b> 22                      |    |         |   |         |               |
| <b>Fv</b>  | 3370    | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Tb</b>            | 4612          | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Fu</b> 8785 kg/cm <sup>2</sup> |    |         |   |         |               |
| <b>V act</b>   | 43300   | kg                 | <b>F. Compresión</b> | 17286         | kg                 |                                   |    |         |   |         |               |
| <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 15%;">ΦR</td> <td style="width: 25%;">4912,38</td> <td style="width: 10%;">&gt;</td> <td style="width: 25%;">1968,18</td> <td style="width: 25%;"><b>Cumple</b></td> </tr> </table> |         |                    |                      |               |                    |                                   | ΦR | 4912,38 | > | 1968,18 | <b>Cumple</b> |
| ΦR   | 4912,38 | >                  | 1968,18              | <b>Cumple</b> |                    |                                   |    |         |   |         |               |
| Estado Limite de Agotamiento Resistente  |         |                    |                      |               |                    |                                   |    |         |   |         |               |
| <b>Ap (1 1/8")</b>   | 6,41    | cm <sup>2</sup>    | <b>Tub</b>           | 90214         | kg                 | <b>Nb</b> 22                      |    |         |   |         |               |
| <b>Fv</b>  | 3370    | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Tb</b>            | 4612          | kg/cm <sup>2</sup> | <b>Fu</b> 8785 kg/cm <sup>2</sup> |    |         |   |         |               |
| <b>V act</b>   | 57300   | kg                 | <b>F. Compresión</b> | 17286         | kg                 |                                   |    |         |   |         |               |
| <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 15%;">ΦR</td> <td style="width: 25%;">3453,89</td> <td style="width: 10%;">&gt;</td> <td style="width: 25%;">2604,55</td> <td style="width: 25%;"><b>Cumple</b></td> </tr> </table> |         |                    |                      |               |                    |                                   | ΦR | 3453,89 | > | 2604,55 | <b>Cumple</b> |
| ΦR   | 3453,89 | >                  | 2604,55              | <b>Cumple</b> |                    |                                   |    |         |   |         |               |

Tabla N°34: Cálculos Capacidades Resistente de las Planchas en las Conexión Modulo-  
Núcleo Planta Recta Superior-Planta Oblicua Inferior.

| PLANCHA RECTO SUP-OBLICUO INF |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Acero                         | A36                     |
| Espesor                       | 25 mm                   |
| B                             | 80 cm                   |
| H                             | 135 cm                  |
| <b>Cedencia</b>               |                         |
| A                             | 200 cm <sup>2</sup>     |
| Fy                            | 3515 kg/cm <sup>2</sup> |
| Φ                             | 0,9                     |
| ΦR                            | 632700 kg               |
| <b>Fractura</b>               |                         |
| A nom                         | 200 cm <sup>2</sup>     |
| A agujeros                    | 30,6 cm <sup>2</sup>    |
| Ae                            | 170 cm <sup>2</sup>     |
| Fu                            | 4080 kg/cm <sup>2</sup> |
| Φ                             | 0,75                    |
| ΦR                            | 520200 kg               |
| <b>Bloque de Corte</b>        |                         |
| Ant                           | 85,7 cm <sup>2</sup>    |
| Anv                           | 258,225 cm <sup>2</sup> |
| Fy                            | 3515 kg/cm <sup>2</sup> |
| Fu                            | 4080 kg/cm <sup>2</sup> |
| Φ                             | 0,75                    |
| Fu*Ant                        | 349656 kg               |
| 0.6*Fu*Anv                    | 632134,8 kg             |
| At                            | 100 cm <sup>2</sup>     |
| Av                            | 319 cm <sup>2</sup>     |
| ΦR                            | 737726,1 kg             |
| <b>Aplastamiento</b>          |                         |
| f'c                           | 400 Kgf/cm <sup>2</sup> |
| A1                            | 10800 cm <sup>2</sup>   |
| Φ                             | 0,6                     |
| Np                            | 2203200 Kgf             |

#### 5.4 Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior

Se muestra en la siguiente figura la conexión planteada:



**Figura 91: Detalle de la Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.**

Aplicando el procedimiento antes mencionado para el cálculo de la soldadura, se obtuvieron las siguientes longitudes requeridas de soldadura para cada conexión, mostrados en la tabla N°35.

Tabla N°35: **Cálculos Soldadura Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.**

| Soldadura Conexión Piso Modulo Planta Recta |           | Soldadura Conexión Viga Principal Techo Modulo Planta Oblicua |          | Soldadura Conexión Diagonal Techo Modulo Planta Oblicua |          |
|---|-----------|---|----------|---|----------|
| Fuerzas de Diseño                           |           | Fuerzas de Diseño   |          | Fuerzas de Diseño                                       |          |
| Vu (Kgf)                                    | Pu (Kgf)  | Vu (Kgf)  | Pu (Kgf) | Vu (Kgf)  | Pu (Kgf) |
| 5960,26                                     | -68830,77 | 2927,98   | 9285,19  | 2927,98   | 29104,35 |

|                           |           |                           |         |                           |          |
|---------------------------|-----------|---------------------------|---------|---------------------------|----------|
| D (mm)                    | 16,00     | D (mm)                    | 10,00   | D (mm)                    | 10,00    |
| te (mm)                   | 11,31     | te (mm)                   | 7,07    | te (mm)                   | 7,07     |
| Soldadura                 | E60       | Soldadura                 | E60     | Soldadura                 | E60      |
| Fx/L                      | 2634,49   | Fy/L                      | 2070,71 | Fy/L                      | 2070,71  |
| Fy/L                      | -30423,78 | Fx/L                      | 6566,61 | Fx/L                      | 20582,99 |
| Fr/L                      | 30537,64  | Fr/L                      | 6885,36 | Fr/L                      | 20686,89 |
| Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00   | Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00 | Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00  |
| L (cm)                    | 16,16     | L (cm)                    | 3,64    | L (cm)                    | 10,95    |

Posteriormente, para realizar el diseño de la plancha de conexión con las barras roscadas se utilizaron las solicitaciones obtenidas por cargas de servicio y mayoradas, según el caso, considerando las solicitaciones tanto de la viga principal como de la diagonal a conectar en la plancha del módulo oblicuo, y las de la viga principal del módulo recto. Aplicando equilibrio de fuerzas en la plancha se obtuvo las siguientes solicitaciones finales.

Tabla N°36: **Solicitaciones Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.**

| Solicitaciones de Diseño Mayoradas Modulo Recto Inf-Modulo Oblicuo Sup |       | Solicitaciones de Diseño por Servicio Modulo Recto Inf-Modulo Oblicuo Sup |       |
|--|-------|---|-------|
| Vu (Kgf)   | 27600 | Vu (Kgf)  | 20400 |
| Fcomp (Kgf)  | 51981 | Fcomp (Kgf)   | 18300 |

Debido a que la plancha se encuentra sometida a fuerzas de compresión se utilizara el mismo diseño de la conexión modulo-núcleo planta recta superior-planta oblicua inferior.

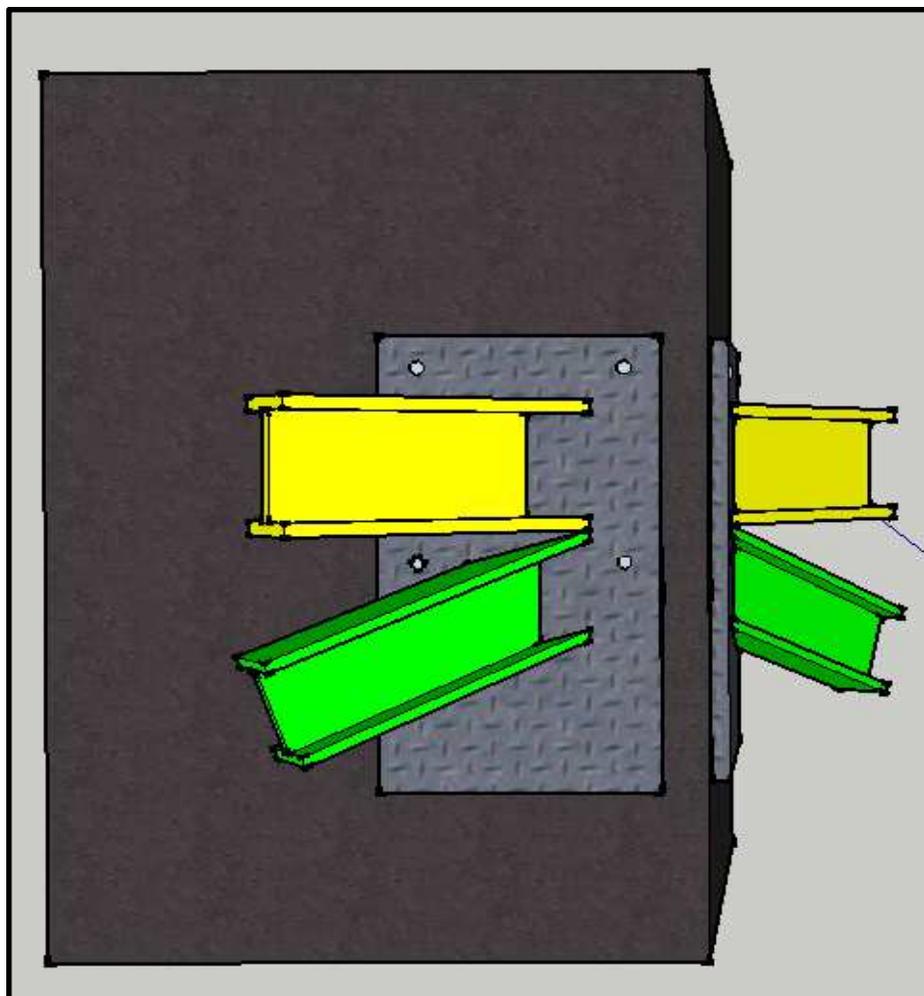
Se muestra en las siguientes tablas el chequeo por compresión y aplastamiento de dicha conexión:

Tabla N°37: **Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.**

| Barras Roscadas                            |       |    |                   |       |                    |                  |       |    |
|--|-------|----|-------------------|-------|--------------------|------------------|-------|----|
| Portland Bolt Anchor Rod<br>A193 Grado B7  |       |    |                   |       |                    |                  |       |    |
| Conexión Inferior Recta - Superior Oblicua |       |    |                   |       |                    |                  |       |    |
| Compresión                                 |       |    |                   |       |                    |                  |       |    |
| <b>F. Compresión</b>                       | 96500 | kg | <b>Tub</b>        | 44519 | kg                 | <b>V act</b>     | 27600 | kg |
| <b>M</b>                                   | 0,33  |    | <b>Resultante</b> | 51981 | kg                 | (Compresión)     |       |    |
|  |       | R  | 17153,73          | <     | 41400              | <b>No Cumple</b> |       |    |
| Aplastamiento                              |       |    |                   |       |                    |                  |       |    |
| <b>Le</b>                                  | 7,4   | cm | <b>Fu</b>         | 4080  | kg/cm <sup>2</sup> | <b>D</b>         | 2,86  | cm |
| <b>E</b>                                   | 2,5   | cm | <b>Φ</b>          | 0,75  |                    |                  |       |    |
|  |       | ΦR | 67932             | ≤     | 70012,8            | <b>Cumple</b>    |       |    |

## 5.5 Conexión Modulo-Núcleo Techo

En el techo de la estructura únicamente debe ser conectada a la plancha la viga principal y la diagonal de los módulos oblicuos que conforman el piso 6. Se muestra a continuación en la figura 90 dicha conexión:



**Figura 92: Conexión Inferior Módulo-Núcleo Techo Estructura.**

Aplicando el procedimiento antes mencionado para el cálculo de la soldadura, se obtuvieron las siguientes longitudes requeridas de soldadura para cada conexión, mostradas en la tabla N°38.

Tabla N°38: **Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.**

| Soldadura Conexión Viga Principal Techo Modulo Planta Oblicua |          | Soldadura Conexión Diagonal Techo Modulo Planta Oblicua |          |
|---|----------|---|----------|
| Fuerzas de Diseño   |          | Fuerzas de Diseño                                       |          |
| Vu (Kgf)  | Pu (Kgf) | Vu (Kgf)  | Pu (Kgf) |
| 2927,98   | 9285,19  | 2927,98   | 29104,35 |

|                           |         |                           |          |
|---------------------------|---------|---------------------------|----------|
| D (mm)                    | 10,00   | D (mm)                    | 10,00    |
| te (mm)                   | 7,07    | te (mm)                   | 7,07     |
| Soldadura                 | E60     | Soldadura                 | E60      |
| Fy/L                      | 2070,71 | Fy/L                      | 2070,71  |
| Fx/L                      | 6566,61 | Fx/L                      | 20582,99 |
| Fr/L                      | 6885,36 | Fr/L                      | 20686,89 |
| Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00 | Fu (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1890,00  |
| L (cm)                    | 3,64    | L (cm)                    | 10,95    |

Las solicitaciones obtenidas por cargas de servicio y mayoradas son las siguientes:

Tabla N°39: **Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.**

| Solicitaciones de Diseño Mayoradas Modulo Oblicuo |       | Solicitaciones de Diseño por Servicio Modulo Oblicuo |       |
|---|-------|--|-------|
| Mu (Kgf-m)  | 2500  | Mu (Kgf-m)   | 1800  |
| Vu (Kgf)  | 21600 | Vu (Kgf)   | 16000 |
| Ftrac (Kgf)                                       | 44519 | Ftrac (Kgf)  | 32851 |

Se obtuvo que en esta conexión se requiere una plancha de 50cmx70cm y de 25mm de espesor con 10 barras roscadas de  $\phi 1\frac{1}{8}$  .

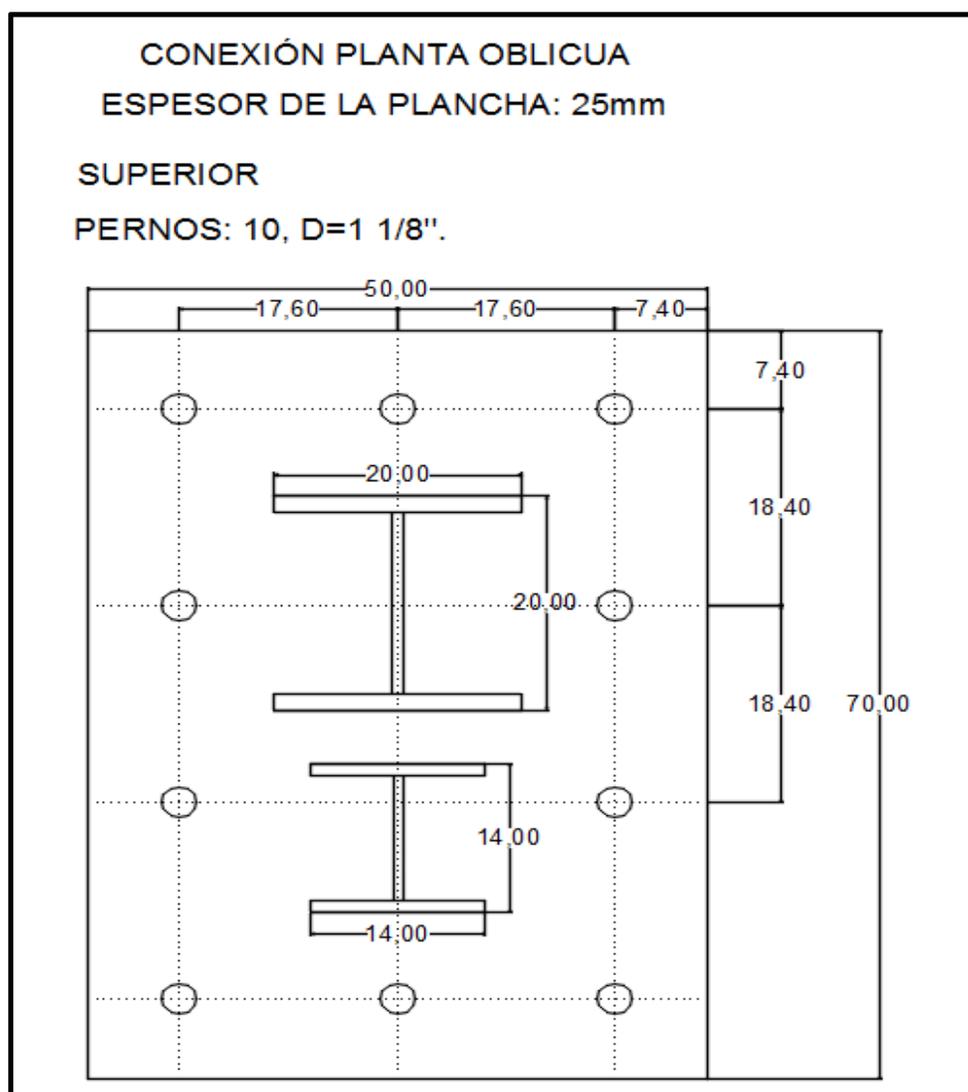


Tabla N°40: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.

| <b>Barras Roscadas</b>  |                         |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
|---|-------------------------|------------|-------------------------|---------------|-------------------------|----|---------|---|---------|---------------|
| Portland Bolt Anchor Rod<br>A193 Grado B7   |                         |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
| <b>PLANTA OBLICUA</b>   |                         |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Conexión Superior</b>  |                         |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Estado Limite de Servicio</b>  |                         |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Ap (1 1/8")</b>  | 6,41 cm <sup>2</sup>    | <b>Tsb</b> | 32851 kg                | <b>Nb</b>     | 10                      |    |         |   |         |               |
| <b>Fv</b>   | 3370 kg/cm <sup>2</sup> | <b>Tb</b>  | 4612 kg/cm <sup>2</sup> | <b>Fu</b>     | 8785 kg/cm <sup>2</sup> |    |         |   |         |               |
| <b>V act</b>  | 16000 kg                |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
| <table border="1"> <tr> <td>ΦR</td> <td>2368,77</td> <td>&gt;</td> <td>1600,00</td> <td><b>Cumple</b></td> </tr> </table> |                         |            |                         |               |                         | ΦR | 2368,77 | > | 1600,00 | <b>Cumple</b> |
| ΦR  | 2368,77                 | >          | 1600,00                 | <b>Cumple</b> |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Estado Limite de Agotamiento Resistente</b>  |                         |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
| <b>Ap (1 1/8")</b>  | 6,41 cm <sup>2</sup>    | <b>Tub</b> | 44519 kg                | <b>Nb</b>     | 10                      |    |         |   |         |               |
| <b>Fv</b>   | 3370 kg/cm <sup>2</sup> | <b>Tb</b>  | 4612 kg/cm <sup>2</sup> | <b>Fu</b>     | 8785 kg/cm <sup>2</sup> |    |         |   |         |               |
| <b>V act</b>  | 21600 kg                |            |                         |               |                         |    |         |   |         |               |
| <table border="1"> <tr> <td>ΦR</td> <td>2361,94</td> <td>&gt;</td> <td>2160,00</td> <td><b>Cumple</b></td> </tr> </table> |                         |            |                         |               |                         | ΦR | 2361,94 | > | 2160,00 | <b>Cumple</b> |
| ΦR  | 2361,94                 | >          | 2160,00                 | <b>Cumple</b> |                         |    |         |   |         |               |

Tabla N°41: Cálculos Conexión Modulo-Núcleo Planta Oblicua Superior-Planta Recta Inferior.

| PLANCHA MODULO OBLICUO-SUPERIOR |        |                     |
|---------------------------------|--------|---------------------|
| Acero                           | A36    |                     |
| Espesor                         | 25     | Mm                  |
| B                               | 50     | Cm                  |
| H                               | 70     | Cm                  |
| Cedencia                        |        |                     |
| A                               | 125    | cm <sup>2</sup>     |
| Fy                              | 3515   | kg/cm <sup>2</sup>  |
| Φ                               | 0,9    |                     |
| ΦR                              | 395438 | Kg                  |
| Fractura                        |        |                     |
| A nom                           | 125    | cm <sup>2</sup>     |
| A agujeros                      | 22,95  | cm <sup>2</sup>     |
| Ae                              | 106,25 | cm <sup>2</sup>     |
| Fu                              | 4080   | kg/cm <sup>2</sup>  |
| Φ                               | 0,75   |                     |
| ΦR                              | 325125 | Kg                  |
| Bloque de Corte                 |        |                     |
| Ant                             | 51,775 | cm <sup>2</sup>     |
| Anv                             | 131,48 | cm <sup>2</sup>     |
| Fy                              | 3515   | kg/cm <sup>2</sup>  |
| Fu                              | 4080   | kg/cm <sup>2</sup>  |
| Φ                               | 0,75   |                     |
| Fu*Ant                          | 211242 | Kg                  |
| 0.6*Fu*Anv                      | 321851 | Kg                  |
| At                              | 62,5   | cm <sup>2</sup>     |
| Av                              | 156,5  | cm <sup>2</sup>     |
| ΦR                              | 406154 | Kg                  |
| Aplastamiento                   |        |                     |
| f'c                             | 400    | Kgf/cm <sup>2</sup> |
| A1                              | 3500   | cm <sup>2</sup>     |
| Φ                               | 0,6    |                     |
| Np                              | 714000 | Kgf                 |

En las siguientes tablas con el resumen de todos los resultados de los cálculos de los pernos y las planchas, tanto de los módulos rectos como de los oblicuos, se puede observar que se cumple con todas las solicitudes.

Tabla N°42: **Resumen de Resultados, Conexiones Apernadas.**

| Resumen de resultados                      |            |  |           |   |            |               |           |   |            |
|--|------------|--|-----------|---|------------|---------------|-----------|---|------------|
| Barras Roscadas                            |            |  |           |   |            |               |           |   |            |
| Conexión Superior Recta - Inferior Oblicua |            | Conexión Inferior Recta - Superior Oblicua |           | Conexión Piso 1                         |            |               |           | Conexión Techo                          |            |
| Estado Limite de Servicio                  |            | Chequeo a Compresion                       |           | Estado Limite de Servicio               |            | Compresión    |           | Estado Limite de Servicio               |            |
| ΦR   | Vact/Barra | R  | 1,5Vact   | ΦR                                      | Vact/Barra | R             | 1,5Vact   | ΦR                                      | Vact/Barra |
| 4912,38                                    | 1968,18    | 17153,73                                   | 41400,00  | 2867,00                                 | 250,00     | 22737         | 9000,00   | 2368,77                                 | 1600,00    |
| Cumple                                     |            | No Cumple                                  |           | Cumple                                  |            | Cumple        |           | Cumple                                  |            |
| Estado Limite de Agotamiento Resistente    |            | Chequeo por Aplastamiento                  |           | Estado Limite de Agotamiento Resistente |            | Aplastamiento |           | Estado Limite de Agotamiento Resistente |            |
| ΦR   | Vact/Barra | ΦR   | 2,4d*e*Fu | ΦR                                      | Vact/Barra | ΦR            | 2,4d*e*Fu | ΦR                                      | Vact/Barra |
| 3453,89                                    | 2604,55    | 67932,00                                   | 70012,80  | 2814,72                                 | 375,00     | 65637,00      | 70012,80  | 2361,94                                 | 2160,00    |
| Cumple                                     |            | Cumple                                     |           | Cumple                                  |            | Cumple        |           | Cumple                                  |            |

Tabla N°43: **Resumen de Resultados, Capacidades Resistentes de las Planchas.**

| Resumen de resultados             |          |                                   |          |                 |          |                 |          |
|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| Plancha de Conexión               |          |                                   |          |                 |          |                 |          |
| Superior Recta - Inferior Oblicua |          | Inferior Recta - Superior Oblicua |          | Conexión Piso 1 |          | Conexión Techo  |          |
| Cedencia                          |          | Cedencia                          |          | Cedencia        |          | Cedencia        |          |
| ΦR                                | Ffrac.   | ΦR                                | Ffrac.   | ΦR              | Ffrac.   | ΦR              | Ffrac.   |
| 632700,00                         | 57300,00 | 632700,00                         | 27600,00 | 474525,00       | 6000,00  | 395437,500      | 21600,00 |
| CUMPLE                            |          | CUMPLE                            |          | CUMPLE          |          | CUMPLE          |          |
| Fractura                          |          | Fractura                          |          | Fractura        |          | Fractura        |          |
| ΦR                                | Ffrac.   | ΦR                                | Ffrac.   | ΦR              | Ffrac.   | ΦR              | Ffrac.   |
| 520200,00                         | 57300,00 | 520200,00                         | 27600,00 | 390150,00       | 6000,00  | 325125,00       | 21600,00 |
| CUMPLE                            |          | CUMPLE                            |          | CUMPLE          |          | CUMPLE          |          |
| Bloque de Corte                   |          | Bloque de Corte                   |          | Bloque de Corte |          | Bloque de Corte |          |
| ΦR                                | Ffrac.   | ΦR                                | Ffrac.   | ΦR              | Ffrac.   | ΦR              | Ffrac.   |
| 737726,10                         | 57300,00 | 737726,1                          | 27600,00 | 422674,65       | 6000,00  | 406153,73       | 21600,00 |
| CUMPLE                            |          | CUMPLE                            |          | CUMPLE          |          | CUMPLE          |          |
| Aplastamiento                     |          | Aplastamiento                     |          | Aplastamiento   |          | Aplastamiento   |          |
| Np                                | Fcomp    | Np                                | Fcomp    | Np              | Fcomp    | Np              | Fcomp    |
| 2203200,00                        | 0,00     | 2203200,00                        | 51981,00 | 918000,00       | 68900,00 | 714000,00       | 0,00     |
| CUMPLE                            |          | CUMPLE                            |          | CUMPLE          |          | CUMPLE          |          |

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES**

- Luego de realizar el análisis de la alternativa planteada, se puede observar en los resultados obtenidos del análisis dinámico realizado en ETABS que se cumplen con todos los requisitos sismorresistentes establecidos por la norma COVENIN 1756-2001 y la norma COVENIN 1618-1998 para las distintas zonas sísmicas y tipos de suelos evaluados.
- Estos resultados nos indican que este tipo de método constructivo proporciona gran versatilidad, tanto arquitectónicamente como estructuralmente. Como se ha mencionado anteriormente, aparte de las alternativas planteadas en este trabajo, existen infinitas soluciones arquitectónicas para este tipo de sistema constructivo, pudiendo adaptarse tanto a edificios lujosos e innovadores, como para edificios destinados a usos sociales, quedando demostrado a través de este análisis que es construible en las distintas zonas sísmicas y tipos de suelos que abarcan el país.
- Al mismo tiempo, al realizar el diseño de las conexiones siguiendo los procedimientos establecidos en la norma se obtuvo un número de pernos algo elevado para las conexiones en los módulos de las plantas rectas, dichos resultados eran los esperados debido a que por los grandes volados que presenta la estructura se generan esfuerzos de gran magnitud.

## RECOMENDACIONES

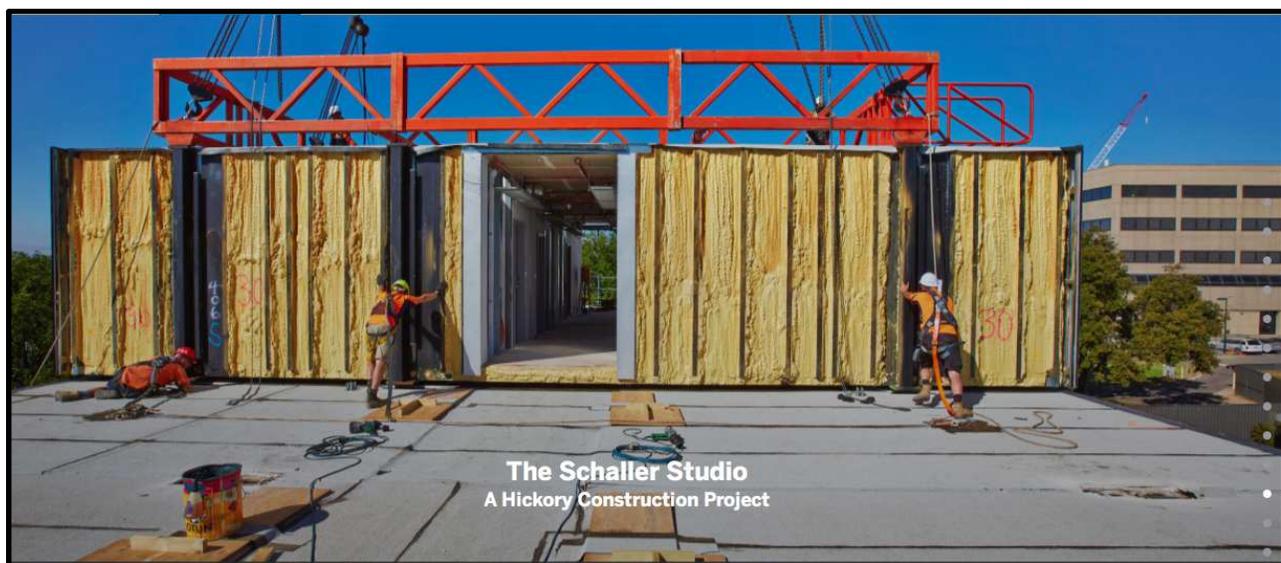
Se recomienda en el espectro de respuesta disminuir el factor de reducción a  $R = 3$ , esto se debe a que, la estructura estudiada es irregular debido a las rotaciones de sus plantas y presenta volados de longitudes importantes, a pesar de que la norma recomiende un valor de  $R = 4$  para este tipo de estructuras. Dicha recomendación fue tomada en cuenta y analizada, aunque por simplificaciones del trabajo no se colocaron los resultados obtenidos, a raíz de este cambio se obtuvo como única diferencia el requerimiento de elementos de borde de mayor longitud en el núcleo, con respecto a la estructura metálica todos los elementos cumplen con los requisitos sismorresistentes sin necesidad de un cambio de sección en los perfiles.

Se recomienda realizar un análisis más detallado del sistema de conexiones entre los módulos y el núcleo de concreto reforzado, debido a que las mismas son el principal plano de falla de la estructura, por lo que se debe realizar un análisis de elementos finitos para cada una de ellas, de manera de determinar con exactitud su comportamiento.

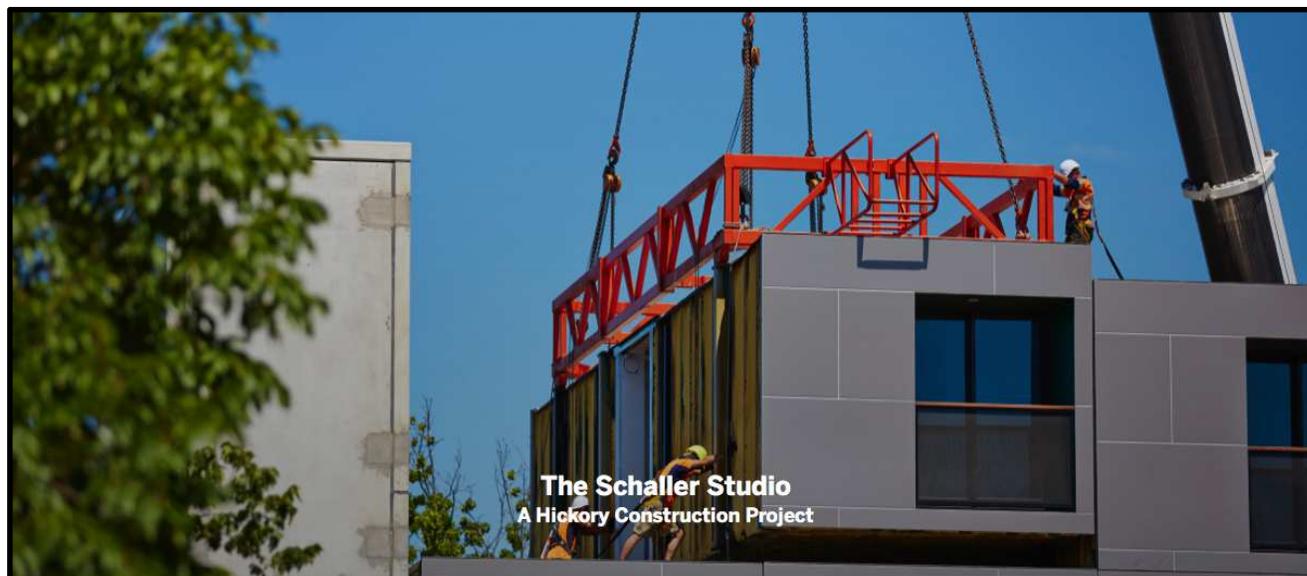
## ANEXOS



**Figura 94: The Schaller Studio**  
Fuente: Hickory Group.



**Figura 95: The Schaller Studio Construction.**  
Fuente: Hickory Group.



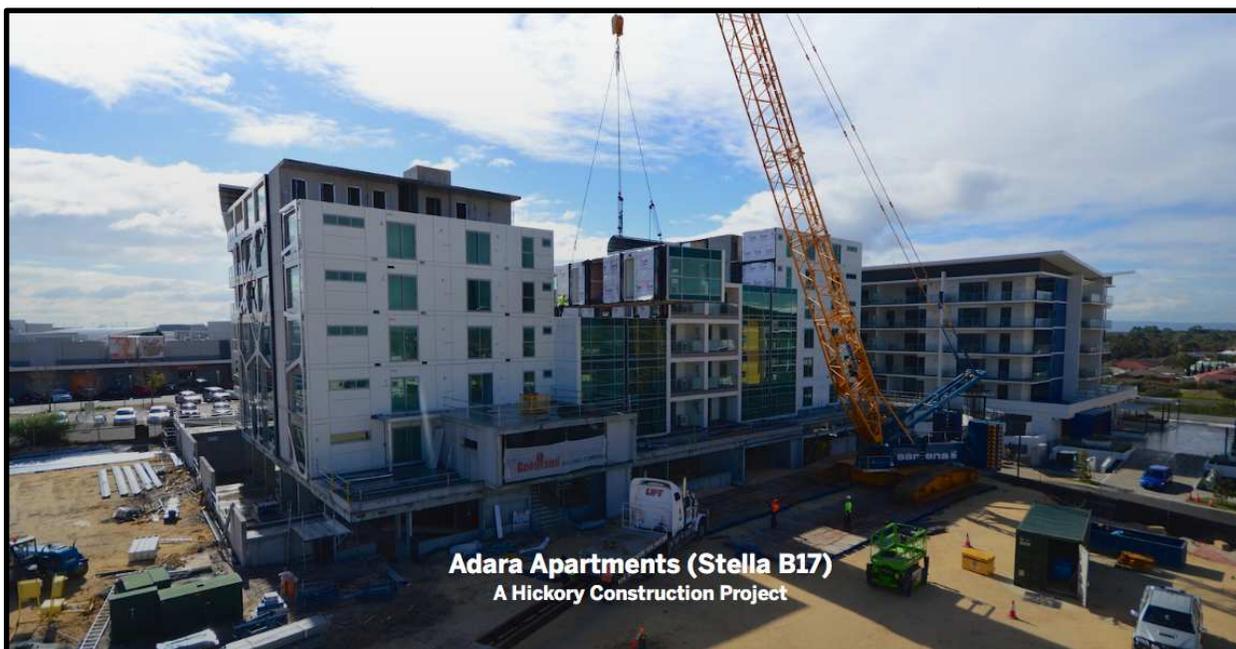
**Figura 96: The Schaller Studio Construction 2.**  
Fuente: Hickory Group.



**Figura 97: Adara Apartments.**  
Fuente: Hickory Group.



**Figura 98: Adara Aparments 2.**  
Fuente: Hickory Group.



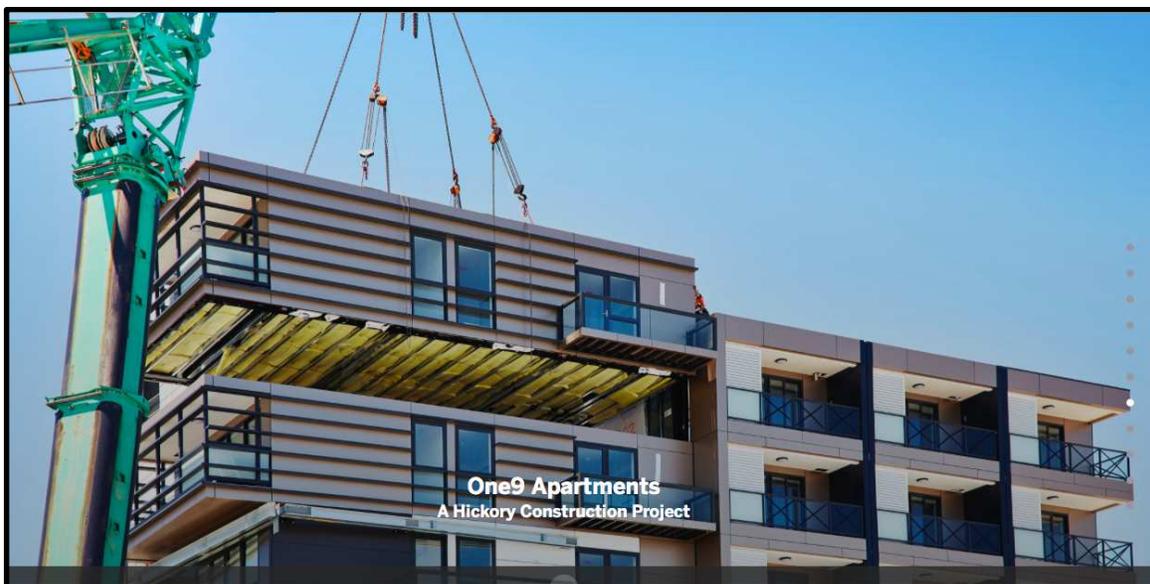
**Figura 99: Adara Aparments Construction.**  
Fuente: Hickory Group.



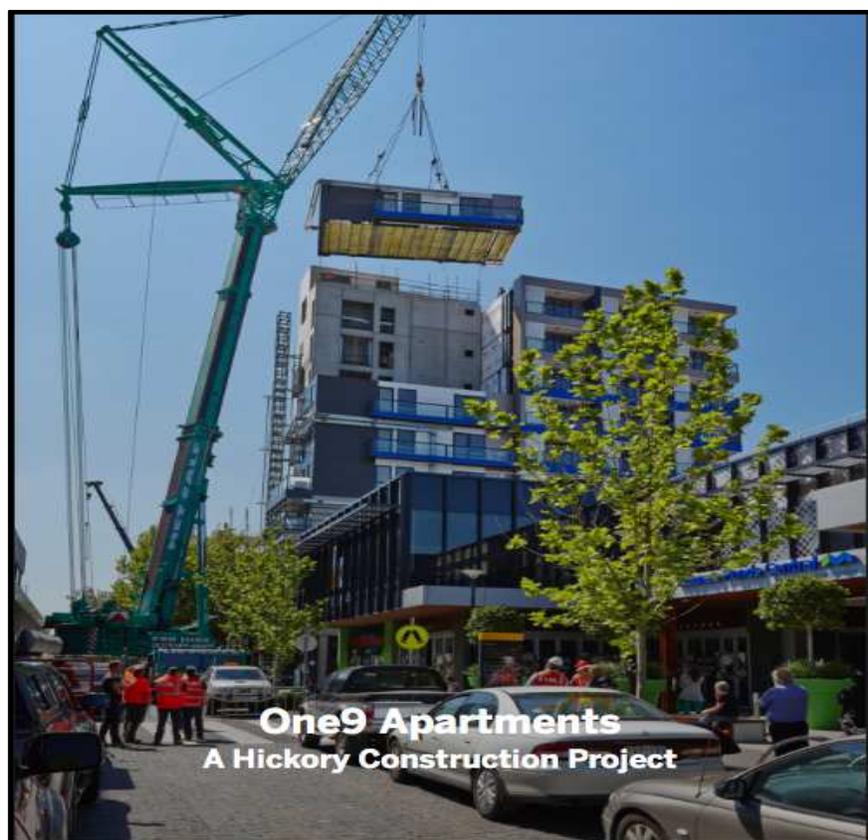
**Figura 100: Adara Aparments Construction 2.**  
Fuente: Hickory Group.



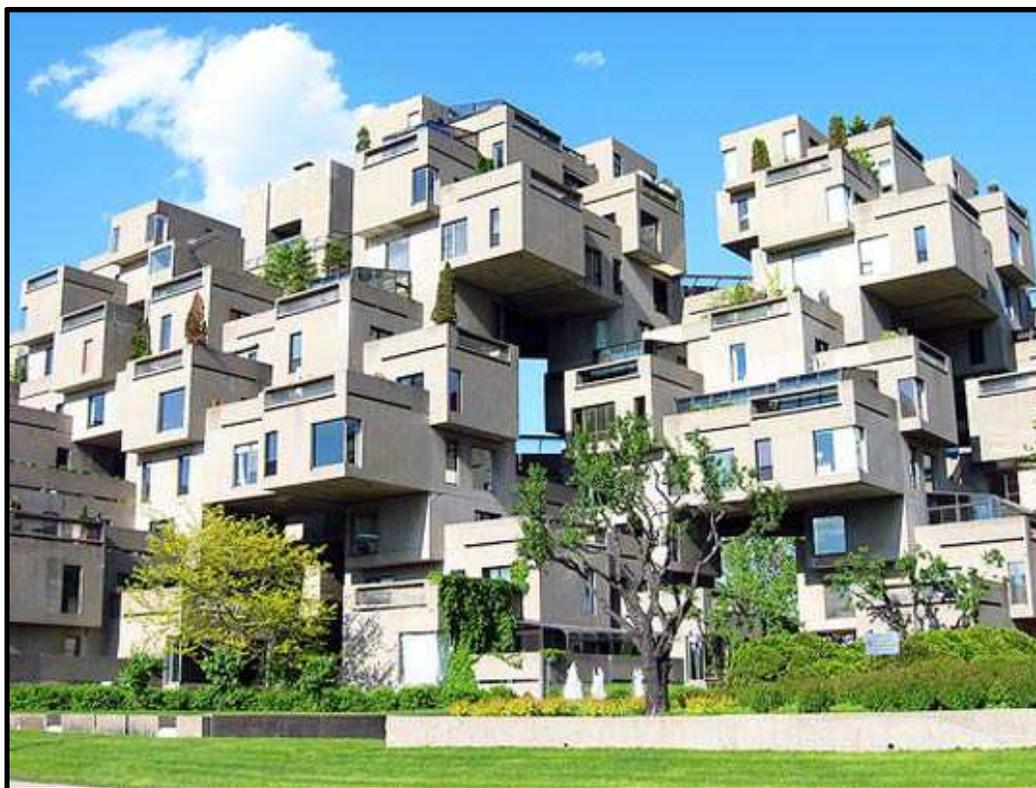
**Figura 101: One9 Aparments Construction.**  
Fuente: Hickory Group.



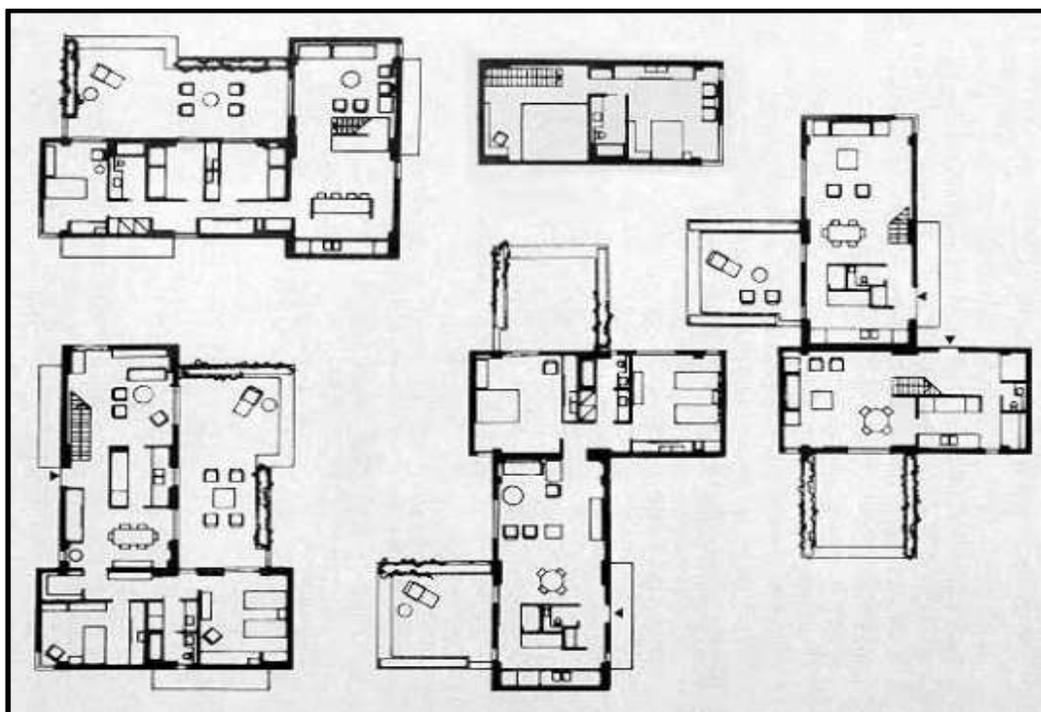
**Figura 102: One9 Apartments Construction 2.**  
Fuente: Hickory Group.



**Figura 103: One9 Apartments Construction 3.**  
Fuente: Hickory Group.



**Figura 104: Habitat 67**  
Fuente: Tikinti.



**Figura 105: Habitat 67**  
Fuente: Tikinti.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### Libros, tesis y Organizaciones.

- COVENIN1618. (1998). *Estructuras de Acero para Edificaciones Metodo de los Estados Limites*.
- COVENIN1756. (2001). *Edificaciones Sismorresistentes*.
- COVENIN2002. (1988). *Criterios y Acciones Minimas para el Proyecto*.
- ACI360. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*.
- ACI318. (2011). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*.
- Bergdoll, B., Christensen, P., Waern, R., & Tadashi Oshima, K. (2008). *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling*.
- Blanco, M. (2012). CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*.
- Garavito”, E. C. (2008). *Soldadura Protocolo*. Bogota.
- Garcia , J. (1995). *LA DEUTSCHER WERKBUND*. Madrid.
- Giedion , S. (2009). *ESPACIO TIEMPO Y ARQUITECTURA*. Barcelona: Reverté.
- LeCorbusier. (1920). *hacia una arquitectura*. Paris.
- LeCorbusier. (1948). *El Modulor*. Paris.
- Lloyd Wright, F. (1970). *An Organic Architecture: The Architecture of Democracy*. Londres.
- Real Academia Española. (2017). *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid.
- Roperó, D., & Comas , A. (2013). *Construcción Modular de Viviendas y Arquitectura*. Valencia: DREAM.

### Páginas WEB

- Antelo, N. (2013). *Una Casa es una Maquina de Habitar. Arquitectura del movimiento moderno como tecnología de los cuerpos*. Obtenido de [www.academia.edu/14701843/\\_Una\\_casa\\_es\\_una\\_m%C3%A1quina\\_de\\_habitar.\\_Arquitectura\\_del\\_Movimiento\\_Moderno\\_como\\_tecnolog%C3%A1Da\\_de\\_los\\_cuerpos\\_](http://www.academia.edu/14701843/_Una_casa_es_una_m%C3%A1quina_de_habitar._Arquitectura_del_Movimiento_Moderno_como_tecnolog%C3%A1Da_de_los_cuerpos_)
- Arqhys. (2012). *Fraguado Del Concreto*. Obtenido de Arqhys: [www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html](http://www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html)
- ARQHYS. (2012). *Movimiento Moderno – Arquitectura y construcción*. Obtenido de ARQHYS: [www.arqhys.com/contenidos/movimiento-moderno-arquitectura.html](http://www.arqhys.com/contenidos/movimiento-moderno-arquitectura.html)
- arquigrafico.com. (25 de febrero de 2016). *Casas Modulares – Viviendas adaptadas a la necesidad de cada uno*. Obtenido de

- [www.arkigrafico.com/casas-modulares-viviendas-adaptadas-a-la-necesidad-de-cada-uno/](http://www.arkigrafico.com/casas-modulares-viviendas-adaptadas-a-la-necesidad-de-cada-uno/)
- Borja, R. (2012). *Enciclopedia de la Política*. Obtenido de enciclopediadelapolitica.
  - Cadena, J. (21 de Julio de 2014). *Prezi*. Obtenido de Prezi: [prezi.com/h1nh6vuy8vp5/sistema-constructivo-tradicional/](http://prezi.com/h1nh6vuy8vp5/sistema-constructivo-tradicional/)
  - *Computers & Structures, INC.* (2017). Obtenido de csiespana: [www.csiespana.com](http://www.csiespana.com)
  - conceptodefinition.de. (04 de Enero de 2015). *Definicion de Arquitectura*. Obtenido de [conceptodefinition.de/arquitectura/](http://conceptodefinition.de/arquitectura/)
  - *ecured.* (2017). Obtenido de [ecured](http://ecured.com): [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu)
  - *eumed Enciclopedia Virtual.* (s.f.). Obtenido de eumed: [www.eumed.net/diccionario/definicion.php?dic=3&def=347](http://www.eumed.net/diccionario/definicion.php?dic=3&def=347)
  - *gob.mx.* (06 de Enero de 2016). Obtenido de [gob.mx](http://gob.mx): [www.gob.mx](http://www.gob.mx)
  - *Hábitat 67: Un complejo de viviendas prefabricadas, ubicado en Montreal.* (s.f.). Obtenido de [tikinti](http://tikinti.org/habitat-67-un-complejo-de-viviendas-prefabricadas-ubicado-en-montreal.html): [tikinti.org/habitat-67-un-complejo-de-viviendas-prefabricadas-ubicado-en-montreal.html](http://tikinti.org/habitat-67-un-complejo-de-viviendas-prefabricadas-ubicado-en-montreal.html)
  - *Modular Construction.* (2014). Obtenido de [mbiaa](http://mbiaa.com.au/modular-construction/): [www.mbiaa.com.au/modular-construction/](http://www.mbiaa.com.au/modular-construction/)
  - *Modular Home.* (24 de Octubre de 2015). Obtenido de [modularhome](http://modularhome.es): [www.modularhome.es](http://www.modularhome.es)
  - *Oxford Living Dictionaries.* (2017). Obtenido de [oxforddictionaries](http://oxforddictionaries.com): [es.oxforddictionaries.com](http://es.oxforddictionaries.com)
  - *Record setting project becomes Australia's tallest prefabricated building by using innovative Hickory delivery model .* (2016). Obtenido de [hickory](http://www.hickory.com.au): <http://www.hickory.com.au>
  - Requejo, J. (14 de Julio de 2014). *Arquitectura, Construcción & Diseño*. Obtenido de [joelrequejo.wordpress](http://joelrequejo.wordpress.com): <https://joelrequejo.wordpress.com/2014/07/14/vigas/>
  - Rial, F. (24 de julio de 2013). *Esquema Histórico de las Artes Plásticas Occidentales*. Obtenido de [www.arqfdr.rialverde.com](http://www.arqfdr.rialverde.com/8-S_xix/balloon.htm): [www.arqfdr.rialverde.com/8-S\\_xix/balloon.htm](http://www.arqfdr.rialverde.com/8-S_xix/balloon.htm)
  - *steelconstruction - Modular construction.* (s.f.). Obtenido de [steelconstruction](http://steelconstruction.info): [www.steelconstruction.info/Modular\\_construction#Attributes\\_of\\_modular\\_construction](http://www.steelconstruction.info/Modular_construction#Attributes_of_modular_construction)
  - Tapia, Y. (Noviembre de 2012). *QUE ES UN SISTEMA CONSTRUCTIVO?* Obtenido de [sistemaconstructivo.blogspot.com](http://sistemaconstructivo.blogspot.com)
  - *Uniones y conexiones.* (s.f.). Obtenido de [arquitecturaenacero](http://arquitecturaenacero.org): [www.arquitecturaenacero.org](http://www.arquitecturaenacero.org)