

**PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA EL DESARROLLO DE UN INSTRUCTIVO
PARA EL MODELAMIENTO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES EN
ESTRUCTURA DE ACERO**

JAVIER HERNANDO MARTINEZ AYALA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA EL DESARROLLO DE UN INSTRUCTIVO
PARA EL MODELAMIENTO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES EN
ESTRUCTURA DE ACERO**

JAVIER HERNANDO MARTINEZ AYALA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Civil**

Director

MIGUEL ANTONIO PERALTA HERNÁNDEZ

Ingeniero Civil, M.Sc.

Tutor

EDGAR IVÁN CELIS MARTÍNEZ

Ingeniero Civil, Especialista en estructuras

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD FÍSICO MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres por darme la vida, por su humildad, perseverancia y valores que son ejemplo a seguir y por todo el sacrificio que hacen para ayudarme a cumplir esta meta que al principio parecía inalcanzable; también agradezco de manera muy especial a mi tía Aurora Martínez por todo el apoyo que me ha brindado, por nunca dudar de mí y ayudarme a cumplir mi sueño de ser ingeniero civil UIS; a mi novia Angie Barbosa por su amor, compañía, su apoyo en momentos difíciles y su motivación para seguir luchando por este sueño compartido; a todos los familiares, amigos y compañeros que compartieron conmigo durante este tiempo y muy especialmente a la memoria de mis abuelos quienes siempre desearon verme cumplir mis sueños.

A la Universidad Industrial de Santander, la escuela de ingeniería civil y todos los profesores que compartieron su conocimiento y experiencias para que seamos profesionales íntegros; al ingeniero Miguel Antonio Peralta Hernández por su orientación en la realización de este proyecto de grado, a la empresa PERALTA INGENIERIA S.A.S, al ingeniero Edgar Iván Celis y todos los compañeros de trabajo por darme la oportunidad de aplicar y profundizar mis conocimientos durante el desarrollo de la práctica.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1 PERALTA INGENIERIA S.A.S.....	13
1.1 MISIÓN.....	13
1.2 VISIÓN.....	13
2 DESARROLLO DE MATERIAL EN LA PRÁCTICA EMPRESARIAL.....	14
2.1 CONTEXTUALIZACIÓN.....	14
2.2 CONSULTA MATERIAL BIBLIOGRÁFICO.....	14
2.3 DESARROLLO DE GUÍAS Y HERRAMIENTAS DE DISEÑO.....	15
3 APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DESARROLLADAS AL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN.....	17
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....	17
3.2 PARÁMETROS DE ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO.....	18
3.3 CHEQUEO DE DERIVAS DE PRIMER ORDEN Y AJUSTE DE PERIODO....	23
3.4 SISMO DE DISEÑO.....	27

3.5 DISEÑO DE LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES Y CONEXIONES	28
3.5.1 Diseño con el programa Etabs 2015.....	29
3.5.1.1 Diseño con análisis lineal.....	29
3.5.1.2 Diseño con análisis de segundo orden.	31
3.5.2 Chequeos y diseño con las herramientas desarrolladas.....	35
3.5.2.1 Chequeo del Diseño de miembros de sección compuesta.	35
3.5.2.2 Chequeo del diseño de vigas de cubierta.	38
3.5.2.3 Chequeo del diseño de columnas armadas.	39
3.5.2.4 Chequeo del diseño de vigas y columnas de los PAC.....	40
3.5.2.5 Chequeo del diseño de riostras.	43
3.5.2.6 Diseño de conexiones.....	43
4 COMPARACIÓN ENTRE LOS DISEÑOS DE LA EDIFICACIÓN	45
5 CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de uso y localización	18
Tabla 2. Sistemas de resistencia sísmica	19
Tabla 3. Coeficientes de modificación de la capacidad básica de disipación de energía y coeficiente de capacidad de disipación de energía.....	19
Tabla 4. Cargas muertas sobre impuestas	20
Tabla 5. Cargas vivas	20
Tabla 6. Cargas de viento y granizo	20
Tabla 7. Valores del espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g	21
Tabla 8. Cortante basal.....	25

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Construcción de la estructura del edificio	17
Figura 2. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.....	22
Figura 3. Modelo estructural de la edificación.....	23
Figura 4. Asignación de sismo en la dirección x	24
Figura 5. Deriva por sismo en dirección x.....	25
Figura 6. Deriva por sismo en dirección y	26
Figura 7. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g, reducido	27
Figura 8. Asignación de sismo de diseño en dirección x.	28
Figura 9. Índices de demanda-capacidad de viguetas y vigas compuestas	29
Figura 10. Índices de demanda-capacidad miembros tipo frame.....	30
Figura 11. Parámetros de diseño.....	32
Figura 12. Derivas obtenidas por análisis de segundo orden	33
Figura 13. Índices demanda-capacidad miembros de sección compuesta.....	34
Figura 14. Índices demanda-capacidad miembros tipo frame	35
Figura 15. Distribución de conectores de cortante.....	36
Figura 16. Componentes del sistema vigueta-losa colaborante	37
Figura 17. Componentes sistema viga-losa colaborante.	38
Figura 18. Vigas IPE 300 de cubierta	39
Figura 19. Columna rectangular armada, en zona central	40
Figura 20. Distribución de fuerzas laterales en PAC.....	41
Figura 21. Columna W14x90 con mayor carga.....	42
Figura 22. Conexión a corte entre vigueta y viga.....	43
Figura 23. Conexión a corte entre viga W27x146 y columna rectangular	44
Figura 24. Conexión viga-columna PAC	45

RESUMEN

Título	PRÁCTICA EMPRESARIAL PARA EL DESARROLLO DE UN INSTRUCTIVO PARA EL MODELAMIENTO, ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES EN ESTRUCTURA DE ACERO*
Autor	Javier Hernando Martínez Ayala**
Palabras Clave	Estructura, acero, diseño estructural, conexión, BIM (Building Information Modeling).

DESCRIPCIÓN:

Se presentan los resultados de la práctica empresarial realizada en la empresa de consultoría y construcción PERALTA INGENIERIA S.A.S en convenio con la Universidad Industrial de Santander, cuyo objetivo ha sido el desarrollo y documentación de procedimientos y herramientas para la verificación del diseño de estructuras en acero, con el fin de reducir el tiempo de ejecución de los proyectos de diseño estructural y tener mayor control en la selección de los parámetros diseño del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. En el tiempo de la práctica se desarrolló una guía general con el procedimiento para el análisis y diseño de las edificaciones, complementado con un instructivo de modelado y diseño en el programa comercial Etabs 2015, hojas de cálculo para el diseño de conexiones típicas y para miembros estructurales. Las herramientas desarrolladas se aplicaron al rediseño de un edificio de oficinas de dos niveles el cual fue diseñado por los ingenieros de la empresa, con el objetivo de verificar los resultados obtenidos por medio de estas herramientas y realizar una comparación entre los diseños, desde el punto de vista del peso de la estructura. Los resultados del diseño de la edificación se plasmaron en un modelo tridimensional en el programa Tekla Structures el cual pertenece a la familia de programas BIM y es utilizado en PERALTA INGENIERIA S.A.S.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández, Ingeniero civil, M.Sc.

ABSTRACT

Title **BUSINESS PRACTICE FOR THE DEVELOPMENT OF AN INSTRUCTIVE FOR THE MODELING, ANALYSIS AND DESIGN OF STEEL STRUCTURE BUILDINGS***

Author **Javier Hernando Martínez Ayala***

Keywords Structure, steel, structural design, connection, BIM (Building Information Modeling).

DESCRIPTION:

In this document the results of the business practice that was carried out in the consulting and construction company PERALTA INGENIERIA S.A.S are presented in agreement with Universidad Industrial de Santander, whose objective has been the development and documentation of procedures and programs for the verification of steel structures designs, the objective is to reduce the execution time of structural design projects and have major control in the selection of design parameters of the Colombian Earthquake Resistant Construction Regulation NSR-10. At the time of the practice a general guide was developed with the procedure for the analysis and design of the buildings, complemented with a model and design instructor in the Etabs 2015 commercial program, spreadsheets for the design of typical connections and for structural members were also made. The programs developed apply to the redesign of a two-level office building which was designed by the company's engineers, with the aim of verifying the results obtained through these tools and making a comparison between the two designs, to observe the weight of the structure. The results of building design were embodied in a three-dimensional model in the Tekla Structures program which belongs to the BIM programs family and is used in PERALTA INGENIERIA S.A.S.

*Degree Project

**Physics-Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: Miguel Antonio Peralta Hernández, Civil Engineer, MSc.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander en convenio con la empresa PERALTA INGENIERIA S.A.S ofrece a los estudiantes de pregrado en ingeniería civil la posibilidad de realizar prácticas empresariales como forma de participar en el desarrollo de actividades profesionales aplicando y fortaleciendo los conocimientos adquiridos en el proceso de formación académica, además, los estudiantes con sus labores de practicante aportan a la solución de las necesidades técnicas de las empresas. La práctica empresarial es una experiencia que le permite al estudiante relacionarse con un entorno de trabajo, conocer y compartir con profesionales y demás personas que se encuentran en el medio de las actividades de la empresa, mejorando su capacidad de relacionarse y trabajar en equipo.

Durante el periodo de realización de la práctica empresarial se tuvo participación directa en el desarrollo de proyectos de diseño estructural, en actividades de análisis y diseño de miembros y conexiones, además de discutir criterios de ingeniería para solucionar problemáticas presentadas en el desarrollo del diseño y construcción de los proyectos; también se realizaron visitas a las obras en ejecución; todo lo anterior realizado con el fin de conocer las necesidades y requerimientos de las actividades realizadas por la empresa conexas con el objetivo de la práctica y lograr resultados que se ajusten a estas necesidades y a los requerimientos normativos.

Para el desarrollo de las guías de modelado y herramientas de diseño se consultó el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, textos especializados como las guías y manuales de diseño de American Institute of Steel Construction -AISC, la especificación AISC 360-10, el material bibliográfico desarrollado por el equipo de ingeniería de la empresa y los recursos audiovisuales de las formaciones y capacitaciones de los ingenieros que forman parte de la compañía. El diseño del edificio se realizó siguiendo los lineamientos y el procedimiento establecido en la guía de modelado y diseño; los resultados de los diseños se plasmaron en modelos BIM con el programa Tekla Structures.

1 PERALTA INGENIERIA S.A.S

PERALTA INGENIERIA S.A.S es una empresa que ofrece servicios de consultoría y construcción a nivel nacional, con más de seis años de experiencia en el desarrollo de proyectos de diseño estructural con fines de vivienda, industriales y para el sector petrolero.

1.1 MISIÓN

PERALTA INGENIERIA S.A.S. es una empresa que presta servicios de consultoría e interventoría para proyectos de obra civil, buscando óptima calidad y plena satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes, de una manera competitiva eficiente y rentable, contribuyendo, además al crecimiento y desarrollo del sector en el cual presta sus servicios, velando por el bienestar de sus empleados y la protección del medio ambiente.

1.2 VISIÓN

PERALTA INGENIERIA S.A.S. se posicionará como una empresa colombiana líder en Santander en el sector de consultoría, interventoría y diseño para proyectos de obra civil, con participación en el mercado nacional para el año 2017 y con una imagen reconocida por la calidad de sus servicios.

Comprometidos con la conservación del entorno y cuidado del capital humano y ejecutando los proyectos con buenas prácticas de control de calidad del servicio.

2 DESARROLLO DE MATERIAL EN LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

Para el desarrollo del material durante la práctica empresarial en PERALTA INGENIERIA S.A.S. se realizaron principalmente cuatro actividades generales.

2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

De acuerdo a las políticas de la empresa, al personal que ingresa a laborar en la compañía se le realiza una presentación que incluye las actividades misionales de la empresa, su origen, trayectoria y los objetivos a futuro, así como los principales proyectos realizados, los que están en desarrollo y las necesidades propias del área en la que se va a desempeñar.

2.2 CONSULTA MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

Se inicia la consulta del material desarrollado por el equipo de ingeniería, con el objetivo de conocer las herramientas que tiene el equipo de diseño y su alcance. Posteriormente se realiza una clasificación del material bibliográfico disponible en la compañía tanto en físico como en digital y que se puede consultar para el desarrollo de las actividades de la práctica.

Para la documentación y desarrollo de las herramientas de diseño se consultaron los siguientes textos:

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. NSR-10, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Specification for Structural Steel Buildings, AISC/ANSI 360-16, Chicago Illinois, 2016.

AMERICAN WELDING SOCIETY, Structural Welding Code – Steel. AWS D1.1/D1.1M, Miami Florida, 2010.

J. Fisher & L. Kloiber, Design Guide 1-Base Plate and Anchor Rod Design, Second Edition, AISC, Chicago Illinois, 2006.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, AISC/ANSI 358-16, Chicago Illinois, 2016.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Steel Construction Manual, 14th Edition, Chicago Illinois, 2011.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Design Examples, 14.1 Version, Chicago Illinois, 2011.

2.3 DESARROLLO DE GUÍAS Y HERRAMIENTAS DE DISEÑO

El procediendo general de diseño se documentó en un archivo tipo texto acompañado de un libro de cálculo en formato .xlsx, en el que se pueden seleccionar los parámetros de diseño iniciales como lo son el factor de importancia, el sistema de resistencia sísmica y los coeficientes de capacidad básica de disipación de energía (R_o) y de sobrerresistencia (Ω_o), el espectro de aceleraciones, las cargas muertas sobrepuestas y las cargas vivas. También se puede calcular el periodo aproximado de la estructura, y aplicar el método de la fuerza horizontal equivalente, teniendo predimensionado el sistema de entrepiso pues este aporta gran porcentaje de la masa de la edificación. Con esta información se continúa a la etapa de modelado de la estructura en el programa de análisis y diseño estructural.

Las guías de modelado, análisis y diseño en el programa Etabs 2015 usado por la compañía, se desarrolló en un documento tipo texto, en las cuales se explica paso a paso las formas para iniciar un modelo, crear los miembros del modelo, definir las cargas gravitacionales y sísmicas, las formas de ingresar las fuerzas sísmicas, el chequeo de derivas, crear grupos de diseño, ingresar parámetros de diseño, ejecutar el diseño, realizar diseño con análisis de segundo orden usando los métodos de análisis directo y longitud efectiva. También se explica cómo sacar fuerzas de diseño para los miembros y conexiones de cada uno de los grupos de diseño.

Se desarrollaron hojas de cálculo para evaluar la capacidad de miembros sometidos a sollicitaciones de compresión, flexión, cortante y torsión en el caso de secciones circulares y rectangulares. En estas hojas se incluyó una base de datos con la

información de los perfiles laminados y formados (perfiles tubulares estructurales-PTE) más comerciales en el país, para evitar al máximo el ingreso de datos de forma manual y disminuir la probabilidad de tener resultados errados. Estas hojas de cálculo están desarrolladas siguiendo los requisitos del capítulo F.2 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10, los cuales no son aplicables a algunos miembros de los sistemas de resistencia sísmica, pues estos se rigen por el capítulo F.3 de la NSR-10 y están fuera del alcance del objetivo de la práctica empresarial.

Por último, se desarrollaron hojas de cálculo para diseñar conexiones entre miembros laminados, miembros rectangulares en perfil tubular estructural (PTE). Entre las hojas desarrolladas se encuentran conexiones a cortante entre viga-columna, viga-viga, columna en I a placa base; también se tienen conexiones con capacidad de transferir momento entre viga-viga (para dar continuidad a la viga), viga-columna, columna I a placa base. El diseño de placas base para secciones PTE solo se desarrolló para compresión y corte. En estas hojas al igual que en las de evaluación de miembros estructurales se incluyó una base de datos con la información de los perfiles laminados y formados. Estas hojas de cálculo están desarrolladas siguiendo los requisitos del capítulo F.2 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, y los procedimientos de la Guía de diseño 1 del AISC, el manual de diseño y los ejemplos de diseño del AISC.

3 APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DESARROLLADAS AL DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

La edificación con la cual se aplican las herramientas desarrolladas en la práctica es un edificio de oficinas de dos niveles, ubicado en la planta de la empresa Bavaria en el municipio de Tocancipá Cundinamarca, el cual fue diseñado a comienzos del año 2016 y su construcción ya culminó. Este edificio es rectangular con dimensiones de 19.8 m por 24.7 m, se configura con tres ejes estructurales en cada dirección principal y su sistema de resistencia sísmica son dos pórticos arriostrados concéntricos (PAC) en cada dirección. El sistema de entrepiso es de losa de concreto con lámina colaborante y la cubierta es a dos aguas y pendiente menor al 15%. En la figura 1 se muestra la edificación en proceso de construcción del sistema estructural.

Figura 1. Construcción de la estructura del edificio



Fuente: Supervisión técnica de la obra

La edificación se rediseña conservando los sistemas de resistencia de carga vertical y lateral, el tipo de cubierta, buscando el resultado más óptimo desde el punto de vista funcional y de consumo de materiales estructurales al realizar correctamente el modelado análisis y diseño por medio del programa Etabs 2015 y posteriormente la verificación de la capacidad estructural de miembros y el diseño de las conexiones con las herramientas desarrolladas durante la práctica empresarial.

3.2 PARÁMETROS DE ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO

Los parámetros de diseño de la edificación se muestran en las tablas 1,2 y 3. La tabla 1 contiene los parámetros relacionados con el uso, la localización y las características del tipo de suelo. En la tabla 2 se muestran los parámetros de acuerdo al sistema de resistencia sísmica para las dos direcciones principales; estos parámetros están especificados en la tabla A.3-2 de la NSR-10. La tabla 3 contiene los coeficientes relacionados con la capacidad de disipación de energía de los sistemas de resistencia sísmica.

Tabla 1. Parámetros de uso y localización

Grupo de uso	Importancia	Descripción	
II	I = 1.1	Estructuras de ocupación especial	
Ciudad	Aa	Av	Zona de amenaza sísmica
Tocancipá	0.15	0.2	Intermedia
Tipo de perfil de suelo		Fa	Fv
E		2.1	3.2

Tabla 2. Sistemas de resistencia sísmica

Parámetros	En dirección principal 1	En dirección principal 2
Sistema Estructural	COMBINADO	COMBINADO
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	C.b. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DMI)	C.b. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DMI)
Sistema resistencia para cargas verticales	Pórticos de acero no resistentes a momentos	Pórticos de acero no resistentes a momentos
R_o	4	4
Ω_o	2.5	2.5
Uso permitido	si	si
Altura máxima	10 m	10 m

Tabla 3. Coeficientes de modificación de la capacidad básica de disipación de energía y coeficiente de capacidad de disipación de energía

Irregularidad en planta	Φ_p	0.9	Según NSR-10 Tabla A.3-6 y Figura A.3.1.
Irregularidad en altura	Φ_a	1	Según NSR-10 Tabla A.3-7 y Figura A.3.2.
Coeficiente por ausencia de redundancia	Φ_r	1.0	Según NSR-10 A.3.3.8
Coeficientes de capacidad de disipación de energía	$R = \Phi_p \cdot \Phi_a \cdot \Phi_r \cdot R_o$	3.6	En dirección principal 1
	$R = \Phi_p \cdot \Phi_a \cdot \Phi_r \cdot R_o$	3.6	En dirección principal 2

Las cargas de diseño asignadas a los componentes de la edificación se muestran en las tablas 4, 5 y 6. Estas cargas se tomaron del diseño inicial de la edificación, con el fin de tener las mismas magnitudes de solicitaciones para que la comparación de los diseños sea veraz, sin embargo, se revisaron con los valores

definidos en el capítulo B de la NSR-10 y se cumplen los requisitos exigidos por esta norma de diseño.

Tabla 4. Cargas muertas sobre impuestas

Sistema de apoyo	Componente	kN/m²	Total
Losas de entrepiso	Acabado de piso	1.1	5.13
	Cielorraso	0.5	
	Muros	3.13	
	Ductos mecánicos	0.2	
	Iluminación	0.2	
Vigas de cubierta	Cielorraso	0.25	0.35
	Iluminación	0.1	
Correas de cubierta	Teja sin traslapo	0.08	0.18
	Instalaciones	0.1	

Tabla 5. Cargas vivas

Sistema de apoyo	Componente	kN/m²
Losas de entrepiso	Uso de oficinas	2
Correas de cubierta	Mantenimiento	0.5

Tabla 6. Cargas de viento y granizo

Sistema de apoyo	Componente	kN/m²
Correas de cubierta	Viento	± 0.4
	Granizo	1

La carga por peso propio de los miembros estructurales y de la losa de entrepiso se incluye directamente en el modelo matemático de la edificación al definir las propiedades de los materiales y las secciones de estos miembros. Las cargas de viento sobre los muros perimetrales de la edificación no se evaluaron, ya que el edificio se encuentra junto a otras edificaciones que impiden la llegada de vientos de gran magnitud que puedan exigir el sistema de resistencia de cargas laterales con esfuerzos mayores a los generados por las cargas sísmicas.

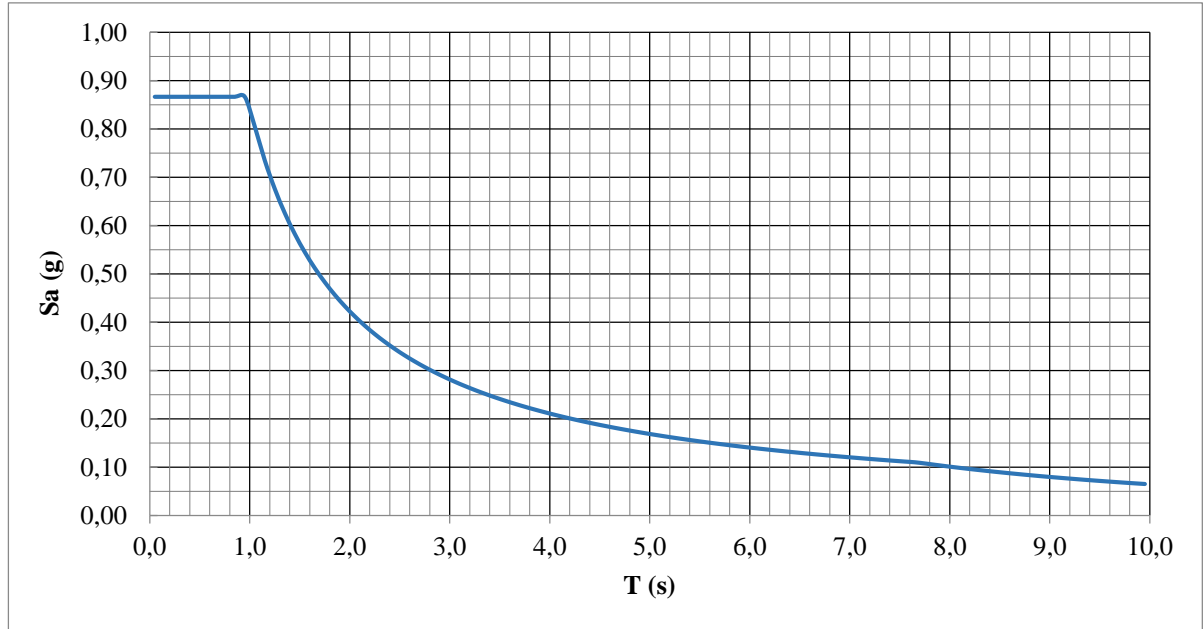
El sismo de diseño se define del espectro elástico de aceleraciones según el capítulo A.2 de la NSR-10 en base a los parámetros definidos en la tabla 1. En la tabla 7 se muestran los datos del espectro de aceleraciones y los periodos de vibración en los que ocurren las transiciones entre las zonas del espectro.

Tabla 7. Valores del espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g

To	Tc	TL	Periodos de transición		
0.20	0.98	7.68	s		
T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)	T (s)	Sa (g)
0.05	0.866	2.65	0.319	5.25	0.161
0.15	0.866	2.75	0.307	5.35	0.158
0.25	0.866	2.85	0.296	5.45	0.155
0.35	0.866	2.95	0.286	5.55	0.152
0.45	0.866	3.05	0.277	5.65	0.150
0.55	0.866	3.15	0.268	5.75	0.147
0.65	0.866	3.25	0.260	5.85	0.144
0.75	0.866	3.35	0.252	5.95	0.142
0.85	0.866	3.45	0.245	6.05	0.140
0.95	0.866	3.55	0.238	6.15	0.137
1.05	0.805	3.65	0.231	6.25	0.135
1.15	0.735	3.75	0.225	6.35	0.133
1.25	0.676	3.85	0.219	6.45	0.131
1.35	0.626	3.95	0.214	6.55	0.129
1.45	0.583	4.05	0.209	6.65	0.127
1.55	0.545	4.15	0.204	6.75	0.125
1.65	0.512	4.25	0.199	6.85	0.123
1.75	0.483	4.35	0.194	6.95	0.122
1.85	0.457	4.45	0.190	7.05	0.120
1.95	0.433	4.55	0.186	7.15	0.118
2.05	0.412	4.65	0.182	7.25	0.117
2.15	0.393	4.75	0.178	7.35	0.115
2.25	0.375	4.85	0.174	7.45	0.113
2.35	0.359	4.95	0.171	7.55	0.112
2.45	0.345	5.05	0.167	7.65	0.110
2.55	0.331	5.15	0.164	7.75	0.108

En la figura 2 se muestra la gráfica de periodo versus aceleración horizontal de diseño como fracción de la gravedad (S_a), que configura el espectro elástico de aceleraciones para el diseño de la edificación.

Figura 2. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g.



Para determinar la máxima aceleración horizontal de diseño como fracción de la gravedad (S_a) se estima el periodo de vibración fundamental aproximado de la edificación (T_a) de acuerdo al numeral A.4.2.2 de la NSR-10, tomando los parámetros para los sistemas de resistencia sísmica basados en muros de rigidez mayor o similar a muros de concreto o mampostería; de acuerdo a lo anterior la ecuación A.4.2-3 de la NSR-10 se configura así:

$$T_a = 0.049h^{0.75} \quad (1)$$

Donde h es la altura de la edificación medida desde la base; en esta edificación se tomó la base a nivel superior de los dados de amarre de los pilotes de cimentación los cuales están a 1.35 m por debajo del nivel de piso acabado; la razón de tomar la base en ese nivel es principalmente por la rigidez lateral del sistema de pilotes lo cual permite asumir un empotramiento en la base de los pedestales que sirven de apoyo de columnas y riostras del PAC. La altura de la edificación es de 9.3 m medidos hasta el nivel de vigas de cubierta; no se consideró la cubierta inclinada para la determinación de la altura, puesto que son miembros que no contribuyen a

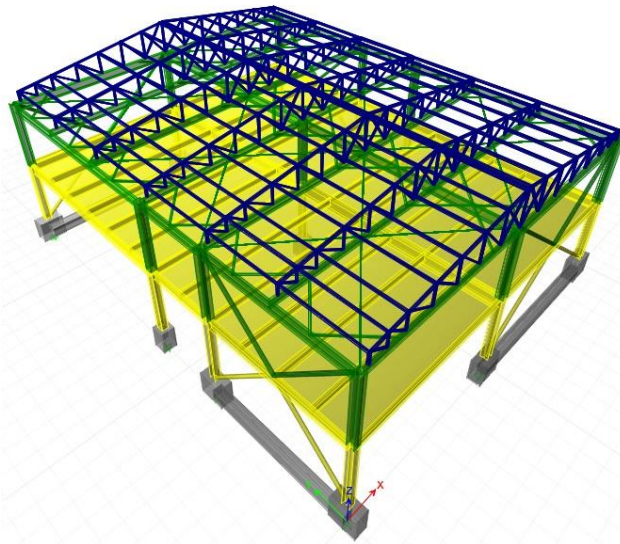
la resistencia de las cargas laterales y su aporte de masa no representa gran porcentaje comparado con el resto de la estructura.

El periodo de vibración fundamental aproximado de la edificación (T_a) es 0.261 segundos; este periodo es menor al periodo correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante y la parte descendente del espectro de aceleraciones (T_c) dado en la tabla 7, por lo tanto, la máxima aceleración horizontal de diseño corresponde a la aceleración en la meseta del espectro de aceleraciones y es 0.866g. Con esta aceleración de diseño se pre dimensiona el sistema de resistencia sísmica de la edificación y se verifican las derivas de los pisos.

3.3 CHEQUEO DE DERIVAS DE PRIMER ORDEN Y AJUSTE DE PERIODO

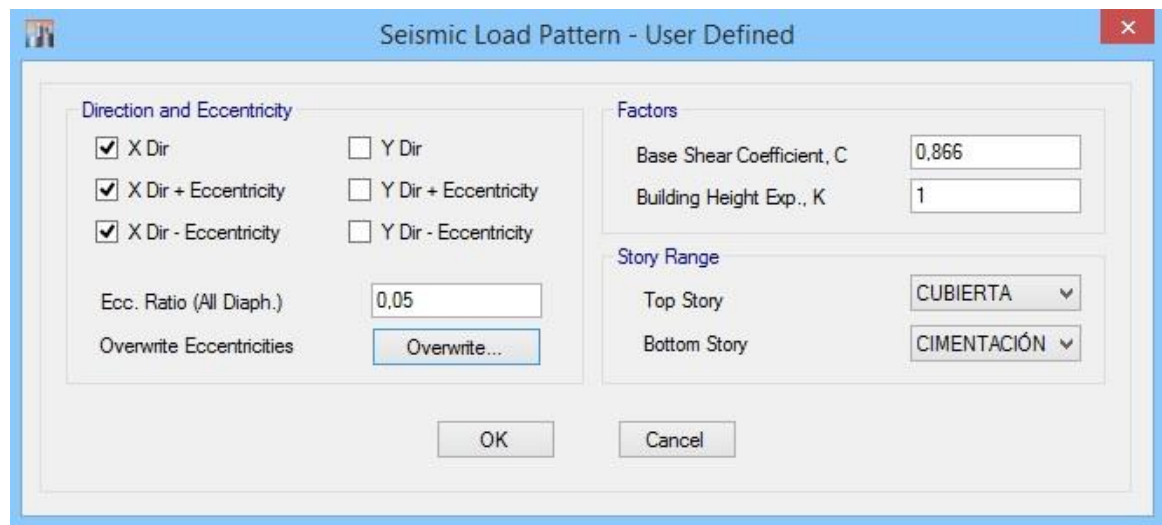
Para iniciar el chequeo de derivas se crea el modelo de la estructura con el sistema de entrepiso dimensionado con las hojas de cálculo desarrolladas para evaluar la capacidad de la losa, vigas y viguetas de sección compuesta. Los pórticos del sistema de resistencia sísmica se pre dimensionan con perfiles más pequeños que los asignados en el diseño inicial realizado por el equipo de ingeniería de la empresa, con el fin de optimizar la estructura. La perfilería en PTE para la cubierta liviana se mantiene y se hacen algunas modificaciones geométricas de las cerchas con el objetivo de redistribuir las fuerzas internas y lograr que sus miembros trabajen de forma más eficiente. En la figura 3 se muestra el modelo de la estructura.

Figura 3. Modelo estructural de la edificación



Las fuerzas sísmicas para chequeo de derivas y para el diseño de la edificación se aplicaron al modelo matemático realizado en el programa Etabs 2015 por medio de la opción User Coefficient, que realiza análisis estático, en el cual calcula las fuerzas sísmicas y las distribuye según la rigidez lateral de los miembros del sistema de resistencia sísmica; las cargas sísmicas se aplican de esta forma ya que el nivel de cubierta no tiene losa y por lo tanto no se puede considerar como diafragma, lo que hace compleja la distribución de las fuerzas de forma manual y realizar esos cálculos no son objetivos de la práctica empresarial. En la figura 4 se muestra la asignación de las fuerzas sísmicas al modelo estructural por medio de opción User Coefficient.

Figura 4. Asignación de sismo en la dirección x



Los sismos se asignan con excentricidad del 5% en el piso con diafragma rígido para considerar los efectos de la excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, según se define en el numeral A.3.6.7 de la NSR-10. Al piso sin losa (Cubierta) no se le asignó esta excentricidad puesto que no tiene diafragma. Para el chequeo de derivas se asignan las cargas definidas en las tablas 5, 6 y 7 a las losas y a los miembros de la estructura; las cargas sobrepuestas en toda la estructura se asignan como parte de la masa para calcular las fuerzas sísmicas. Esto se realiza en el programa para que calcule las fuerzas sísmicas correctamente. En la tabla 8 se muestran los resultados del cortante basal calculado por el programa y el calculado de forma manual; la diferencia entre los resultados del cortante se debe a los métodos de distribución de la masa. Con la certeza de que las fuerzas sísmicas están bien calculadas, en las figuras 5 y 6 se muestran las derivas obtenidas por análisis lineal.

Tabla 8. Cortante basal

Masa estructura	503943.9	kg
Cortante basal	Programa	4206.26 kN
	Manual	4281.26 kN
Diferencia	1.78%	

Figura 5. Deriva por sismo en dirección x

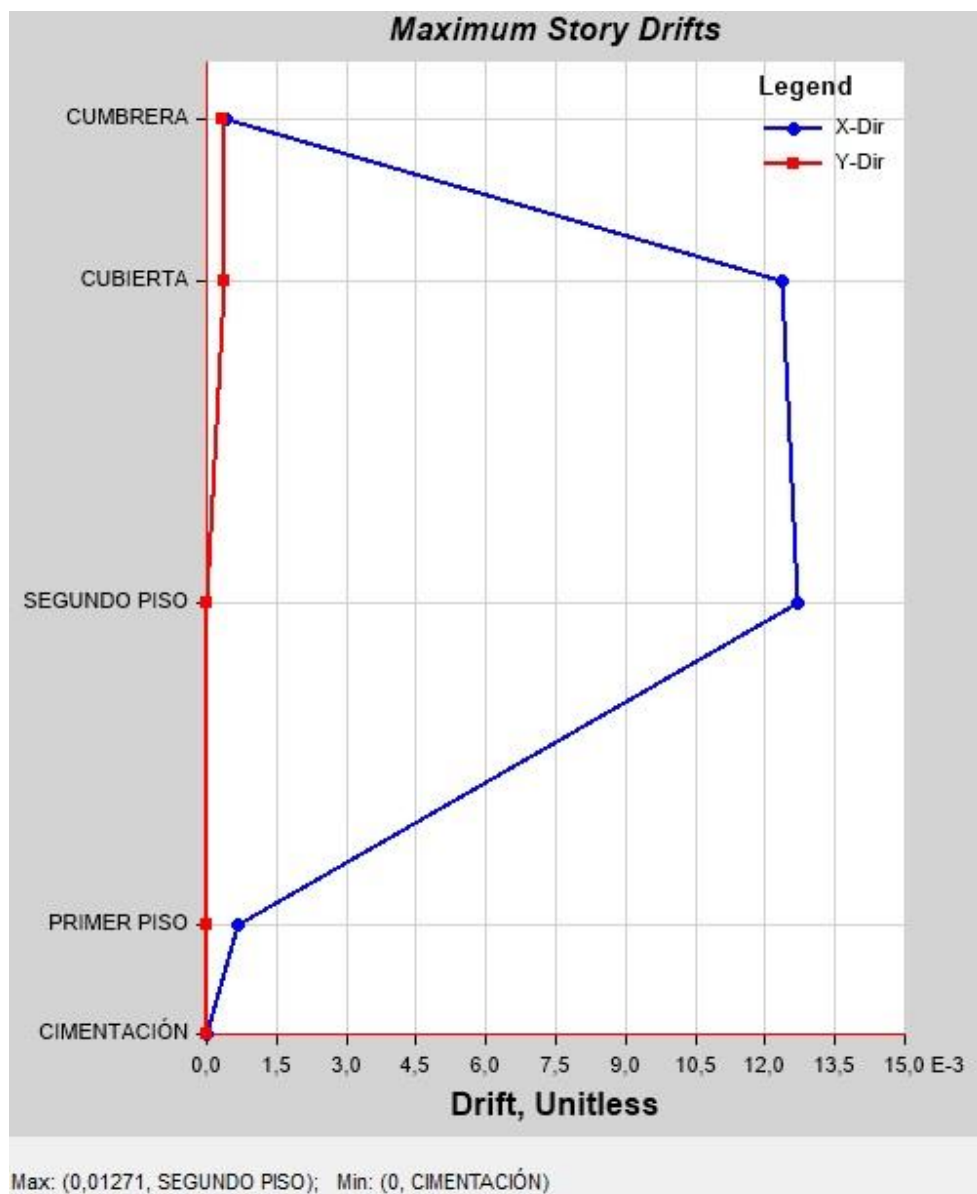
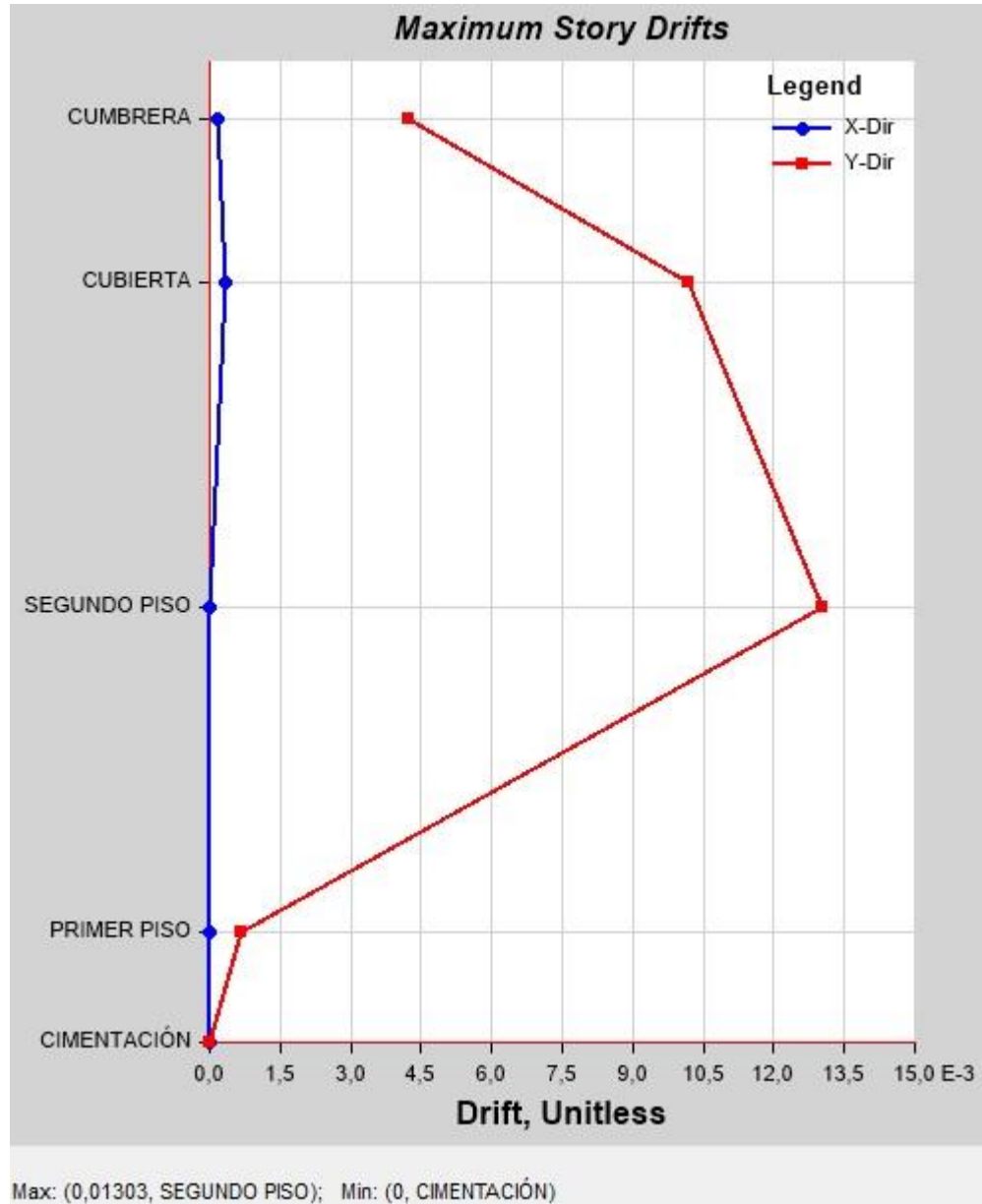


Figura 6. Deriva por sismo en dirección y



Los límites de derivas máximas según el numeral A.6.4.1 de la NSR-10 es del 1%; sin embargo, el numeral A.6.4.1.1 permite modificar este valor dividiendo por 0.7 para las estructuras cuyo material no presentan fisuración, con lo que se tiene un límite máximo de derivas de 1.429% para los casos en que se calculan las derivas sin reducir la rigidez de los miembros de la estructura como se realiza en el análisis

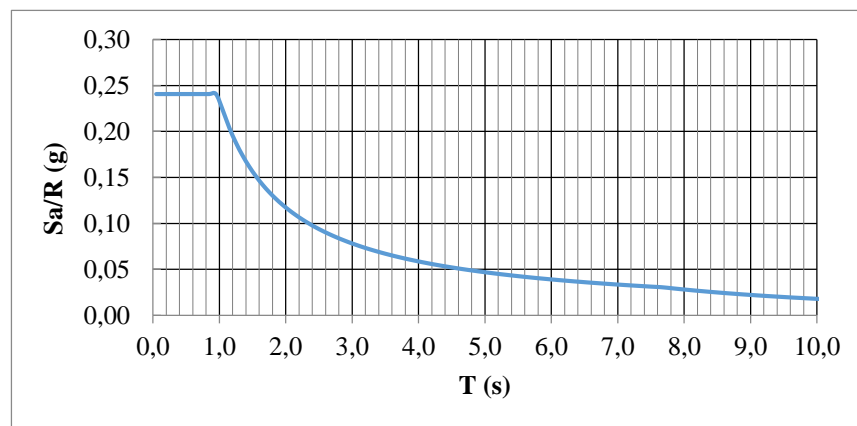
lineal. En base a los resultados mostrados en las figuras 5 y 6 se puede afirmar que la estructura en con cumple derivas en las dos direcciones principales.

Realizando un análisis modal, se obtiene el periodo de vibración fundamental de la edificación (T) de 0.30 segundos, con el 95% de la masa participante de la estructura. La diferencia entre el periodo de vibración fundamental aproximado de la edificación (T_a) y el periodo de vibración fundamental calculado en el análisis modal, es del 14.9% y según el numeral A.4.2.3 de la NSR-10 se debe iterar hasta converger a una diferencia entre los periodos menor al 10%; como los periodos aproximados y calculados corresponden a valores de aceleración espectral en la zona de aceleración constante del espectro, las cargas sísmicas no se modifican y la iteración no puede converger a lo establecido en la NSR-10, luego el periodo real de la edificación es el determinado por el análisis modal y las cargas sísmica definitivas son las asignadas al inicio del análisis.

3.4 SISMO DE DISEÑO

El sismo de diseño definido por el espectro elástico de aceleraciones de diseño mostrado en la figura 2, se divide por el coeficiente de capacidad de disipación de energía (R) para obtener el sismo de diseño de los miembros estructurales. En este caso los coeficientes de capacidad de disipación de energía de la edificación son iguales para las dos direcciones principales, luego el sismo de diseño es el mismo para las dos direcciones principales. En la figura 7, se muestra el espectro de aceleraciones de diseño reducido.

Figura 7. Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g , reducido



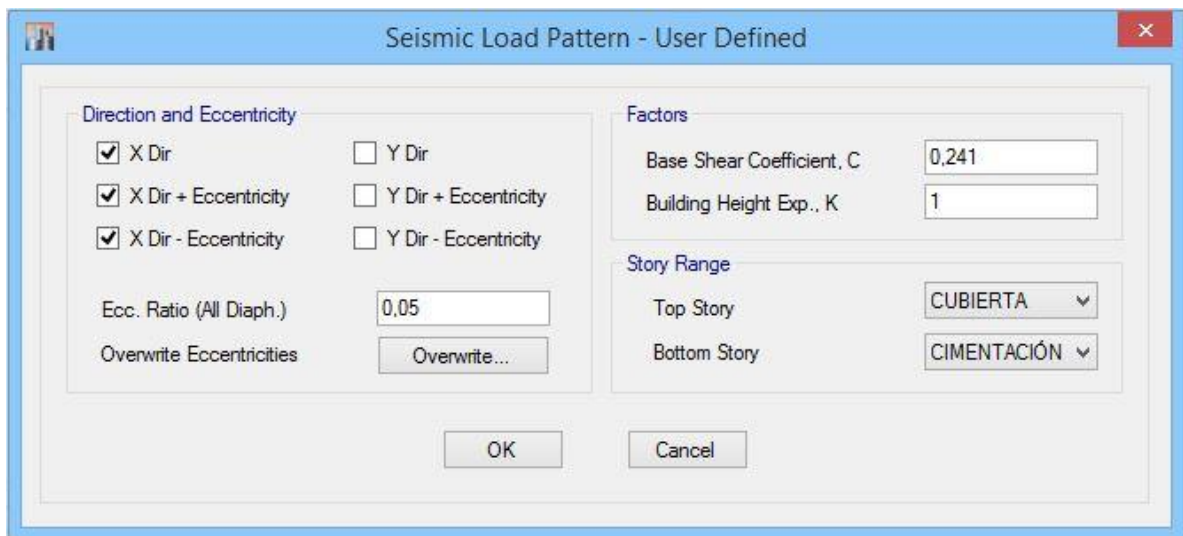
En base al sismo de diseño reducido, la máxima aceleración horizontal de diseño como fracción de la gravedad (S_a) es;

$$S_a = \frac{0.866}{3.6} = 0.241$$

Este coeficiente de aceleración se asigna al sismo definido en el programa de análisis estructural por medio de la opción User Coefficient, para que calcule las fuerzas sísmicas de diseño.

En la figura 8 se muestra se muestra la asignación del sismo en la dirección x, para que el programa calcule las fuerzas sísmicas de diseño para el sistema de resistencia sísmica.

Figura 8. Asignación de sismo de diseño en dirección x.



3.5 DISEÑO DE LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES Y CONEXIONES

A continuación se presentan los resultados del diseño de los principales miembros estructurales de la edificación para análisis lineal y análisis de segundo orden; también se muestran los resultados del diseño de conexiones principalmente a cortante.

3.5.1 Diseño con el programa Etabs 2015. Se realiza el diseño de los miembros estructurales de los sistemas de resistencia de cargas verticales y de cargas laterales con análisis de primer y de segundo orden; para el análisis de segundo orden se aplica el método de análisis directo.

3.5.1.1 Diseño con análisis lineal. El diseño se realiza para verificar que las vigas de los PAC y los miembros de la estructura en general puedan resistir las cargas gravitacionales suponiendo que las riostras de los PAC no proporcionan soporte para la carga muerta y la carga viva, como se exige en el numeral F.3.6.1.4.1 de la NSR-10. Para realizar este análisis, se eliminan las riostras del modelo y ejecuta el diseño de todos los miembros de la estructura. Las combinaciones de carga para este diseño contienen solo cargas gravitacionales (carga muerta, viva y granizo). En las figuras 9 y 10 se muestran los índices de sobre esfuerzo para las viguetas y vigas compuestas de la planta del segundo piso y de los otros miembros de la estructura respectivamente.

Figura 9. Índices de demanda-capacidad de viguetas y vigas compuestas

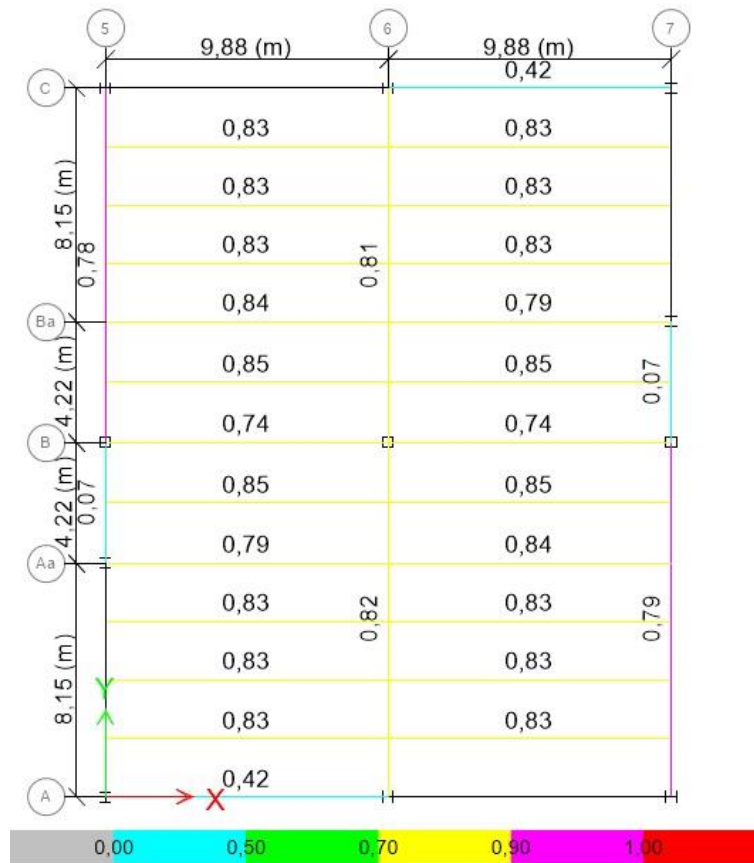
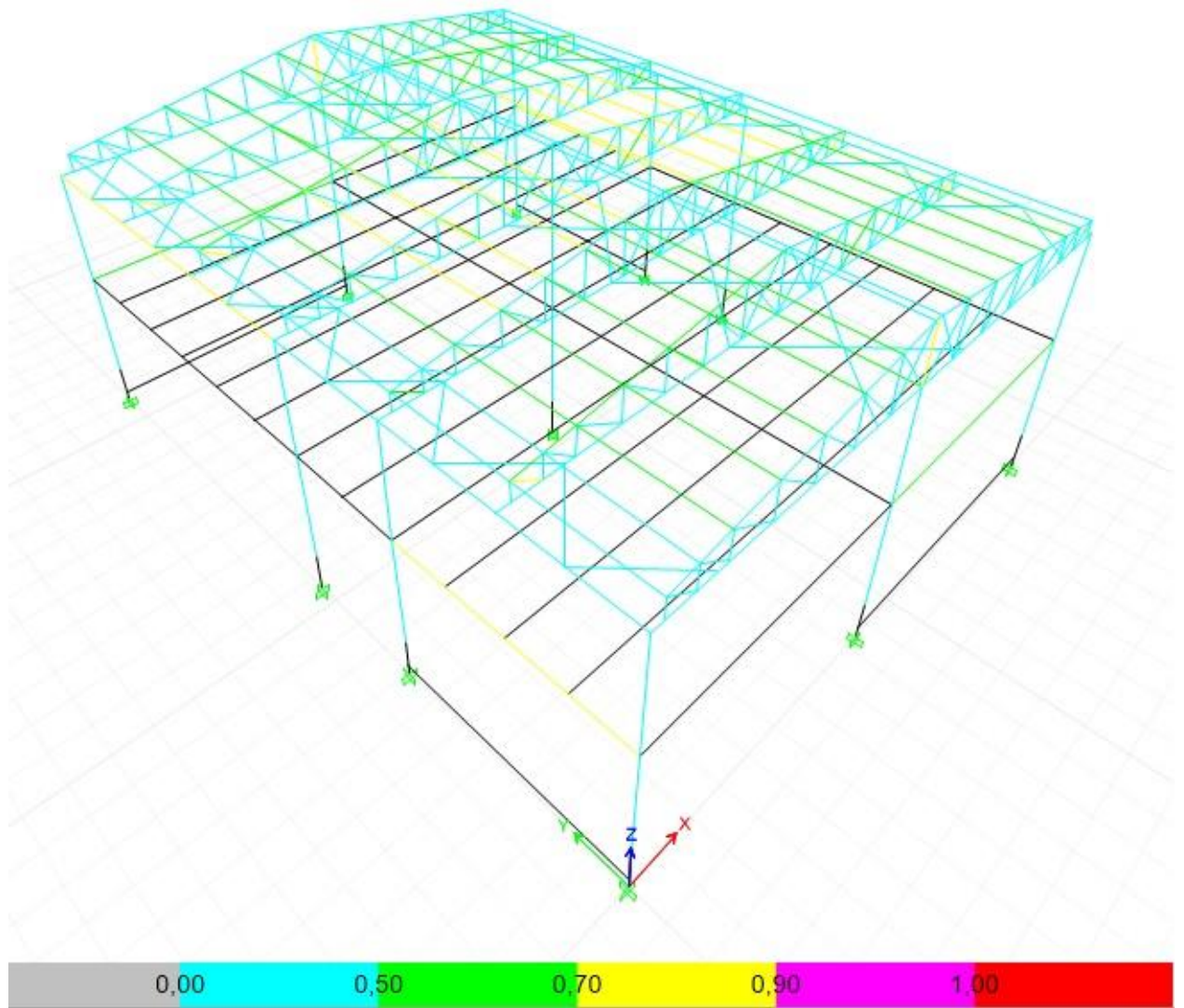


Figura 10. Índices de demanda-capacidad miembros tipo frame



Como se aprecia en las figuras 9 y 10 los mayores índices de demanda-capacidad están entre 0.7 y 0.8, luego se concluye que todos los miembros de la estructura pueden resistir las cargas impuestas bajo las condiciones de análisis descritas anteriormente.

3.5.1.2 Diseño con análisis de segundo orden. Para realizar el diseño de los miembros se aplica el método de análisis directo, el cual exige que se tengan en cuenta los efectos de segundo orden $P - \Delta$ y $P - \delta$, para determinar las fuerzas y momentos de diseño de los miembros de la estructura. Los requisitos y parámetros para realizar análisis aplicando el método de análisis directo están definidos en el subcapítulo F.2.3 de la NSR-10.

Para realizar este análisis se definen y asignan al modelo las cargas ficticias que representan las imperfecciones iniciales en la estructura. Las cargas ficticias se aplican como cargas laterales a todos los pisos y en las dos direcciones principales de la estructura considerando ambos sentidos. Estas cargas tienen una magnitud de 0.002 veces el valor de carga gravitacional. Las combinaciones de carga para diseño deben incluir las cargas ficticias y se permite aplicar estas cargas solo a las combinaciones de carga gravitacional únicamente, si la relación entre la máxima deriva del análisis de segundo orden y la máxima deriva del análisis primer orden es menor a 1.7 en todos los pisos. Generalmente en edificaciones regulares se cumple que la relación de derivas es menor a 1.7, por lo tanto, se inicia generando combinaciones de carga que contemplan las cargas ficticias solo para las combinaciones que no incluyen cargas laterales.

El método de análisis directo exige la reducción del 20% de los parámetros de rigidez de los miembros que contribuyen a la estabilidad de la estructura. Se aplica esta reducción de rigidez a todos los miembros de la estructura incluidos los que no aportan a la estabilidad de la misma, para evitar que las fuerzas se redistribuyan de forma que distorsione el comportamiento de las cargas. También se debe aplicar una reducción adicional de la rigidez a los miembros sometidos a flexo-compresión que aportan a la estabilidad de la estructura como columnas y riostras; esta reducción adicional se aplica por el parámetro τ_b , el cual es 1 si la relación entre la resistencia requerida a compresión y la resistencia a fluencia del miembro bajo carga axial es menor o igual a 0.5, de lo contrario se debe calcular según la ecuación F.2.3.2-2b de la NSR-10, la cual se transcribe en seguida.

$$\tau_b = 4 \left[\frac{P_u}{P_y} \left(1 - \frac{P_u}{P_y} \right) \right] \quad (2)$$

Donde:

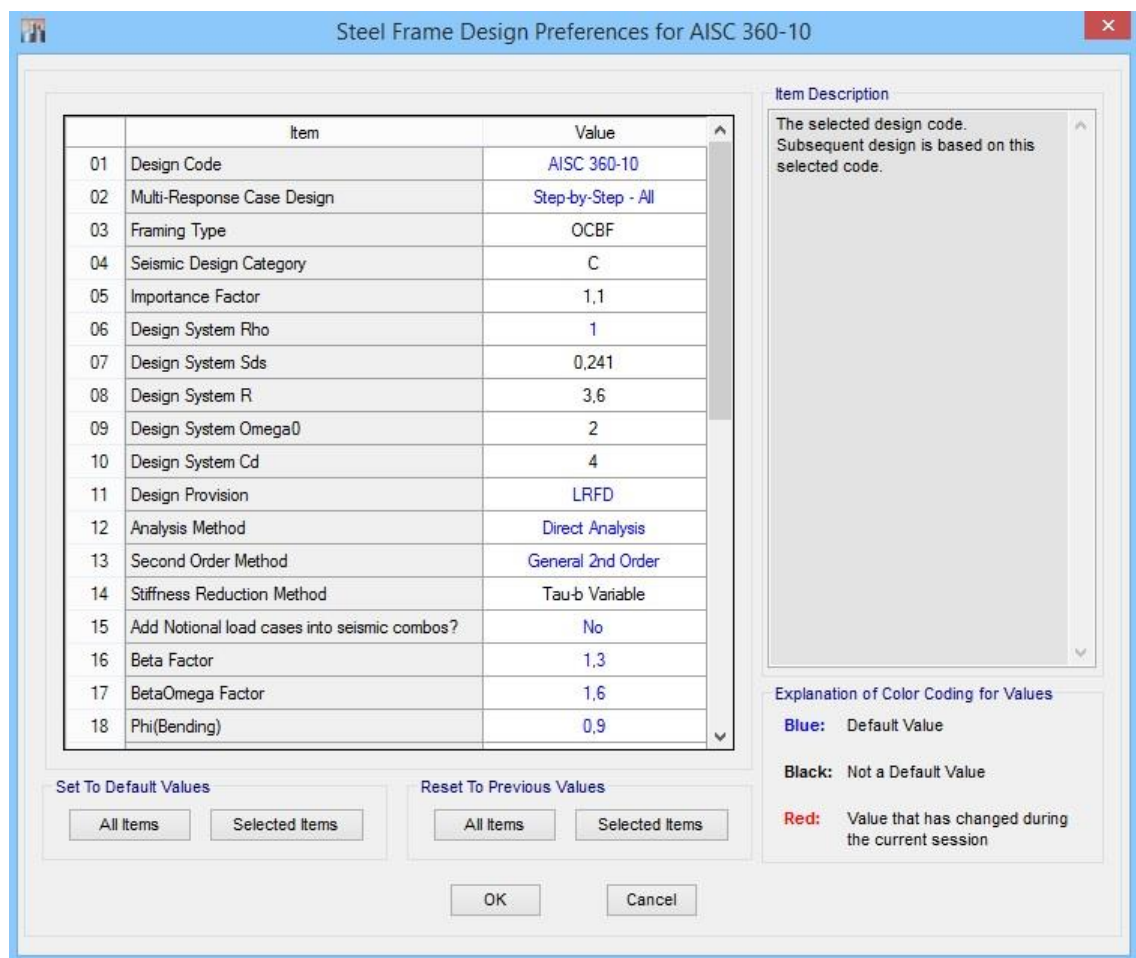
P_u , resistencia requerida a compresión,

P_y , resistencia del miembro a fluencia bajo carga axial.

Se permite tomar el coeficiente τ_b igual a 1 para todos los miembros de la estructura, pero se debe usar un coeficiente de 0.003 para la carga ficticia y aplicar dichas cargas a todas las combinaciones.

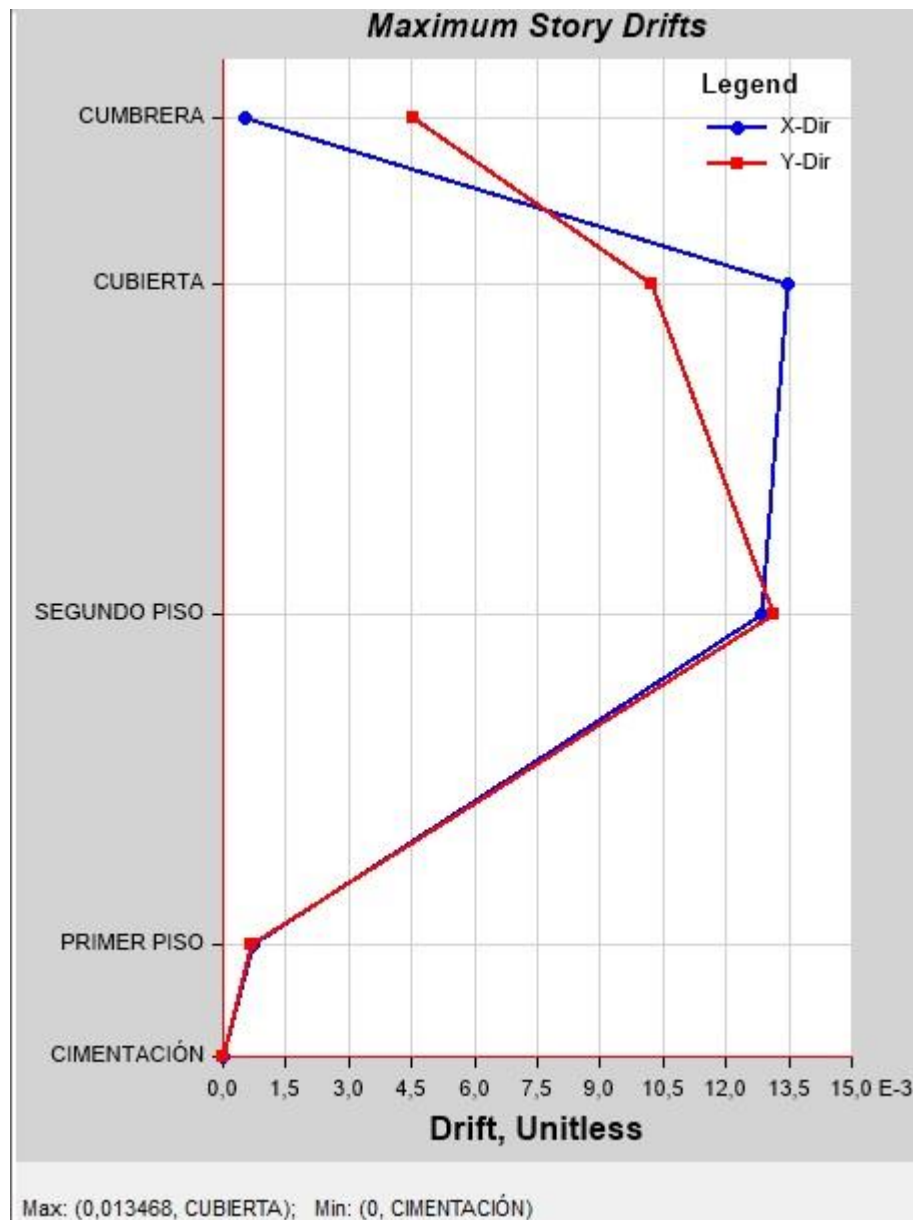
Para ejecutar el método de análisis directo en el programa de análisis estructural se deben ingresar los parámetros de diseño, generar las combinaciones de carga y convertirlas en no lineales para que tenga en cuenta los efectos $P - \Delta$ y $P - \delta$. En la figura 11, se muestran los parámetros de diseño aplicados al modelo de la edificación para realizar el análisis directo; para el análisis se debe considerar el coeficiente τ_b es variable, puesto que las cargas ficticias se asignaron con coeficiente de 0.002.

Figura 11. Parámetros de diseño



Para verificar las derivas del análisis de segundo orden se crean los sismos de derivas y se ejecuta el análisis estructural con los parámetros del método de análisis directo. En la figura 12 se muestran las derivas totales obtenidas por el análisis de segundo orden con el método de análisis directo. La relación entre derivas de primer y segundo orden es 1.06, por lo tanto, no es necesario aplicar las cargas ficticias a las combinaciones de carga lateral.

Figura 12. Derivas obtenidas por análisis de segundo orden



Con las combinaciones de carga que incluyen las cargas ficticias se diseñan los miembros de sección compuesta del sistema de piso con lámina colaborante y los demás miembros de la estructura, diferenciando entre los que pertenecen al sistema de resistencia sísmica y los que pertenecen al sistema de carga vertical, con el fin de que se realicen los chequeos de los parámetros exigidos de para el sistema de resistencia sísmica de la estructura. En la figura 13 y 14 se muestran los índices de demanda capacidad de los miembros del sistema de piso y los demás miembros de la estructura respectivamente.

Figura 13. Índices demanda-capacidad miembros de sección compuesta

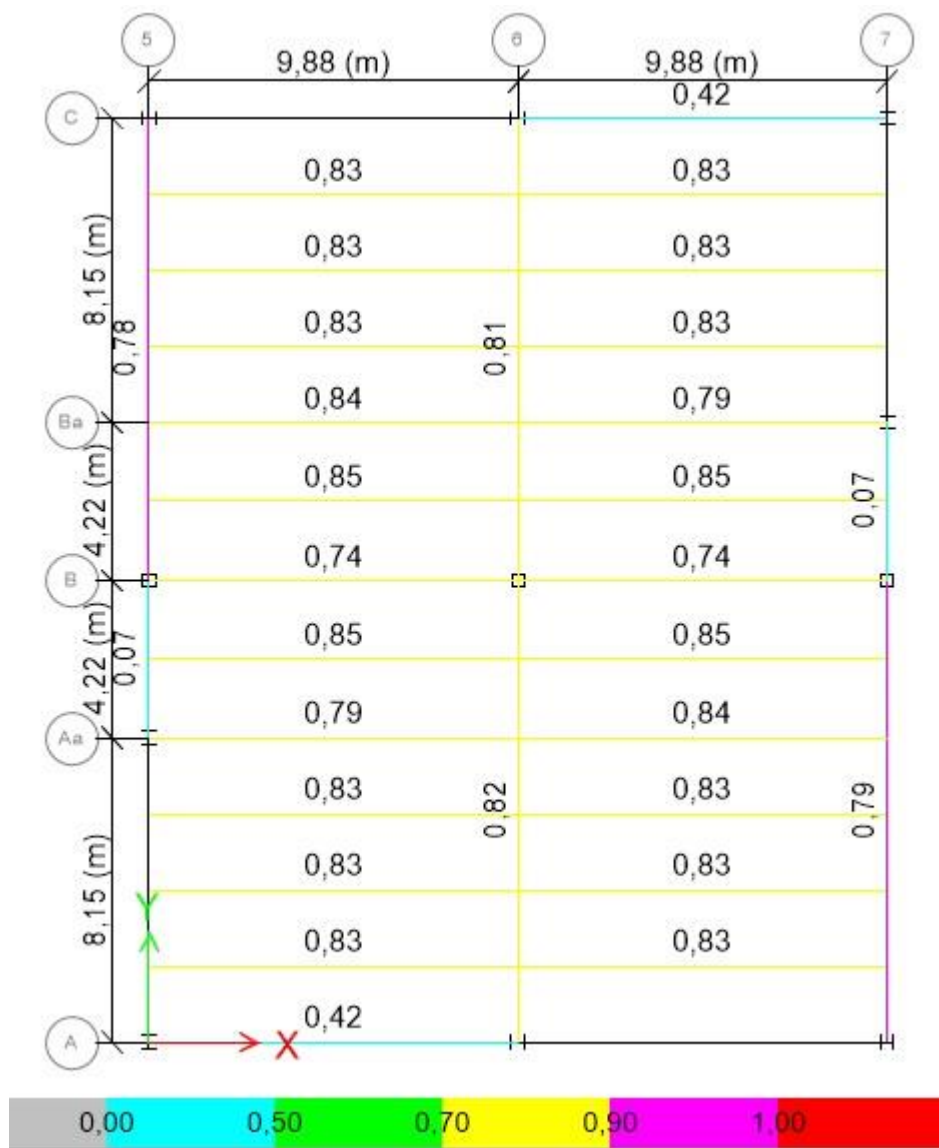
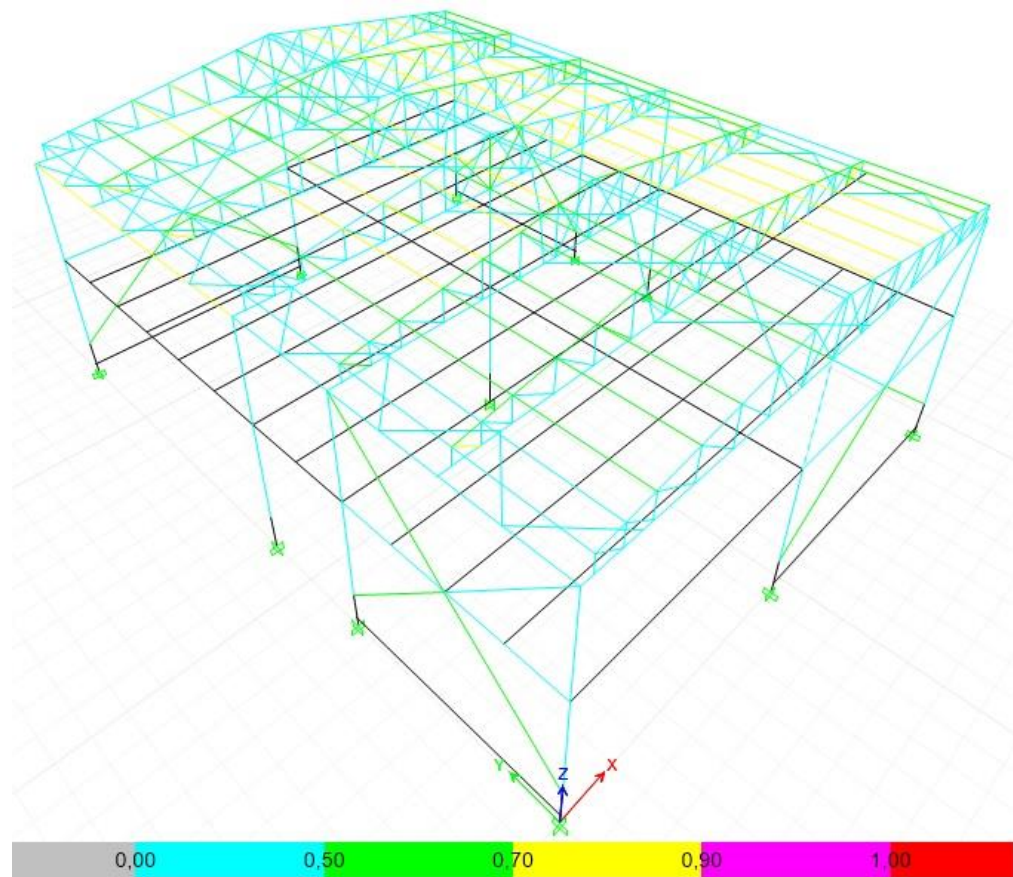


Figura 14. Índices demanda-capacidad miembros tipo frame



En las figuras 13 y 14 los índices de demanda-capacidad de los todos los miembros de la estructura son menores a 1.0 y pueden resistir las cargas impuestas bajo las condiciones de análisis descritas anteriormente.

3.5.2 Chequeos y diseño con las herramientas desarrolladas. Se realiza la verificación del diseño de los miembros estructurales de los sistemas de resistencia de cargas verticales y cargas laterales y se diseñan algunas conexiones; estas verificaciones y diseños se realizan con las fuerzas obtenidas del análisis de segundo orden aplicando el método de análisis directo.

3.5.2.1 Chequeo del Diseño de miembros de sección compuesta. Se realiza el chequeo de las viguetas del entrepiso, tomando una vigueta de la zona central del

panel de losa de mayor área, para tener la mayor adherencia carga. En la etapa de diseño es necesario evaluar la capacidad de la vigueta y del panel colaborante para resistir las cargas de construcción, impuestas por el concreto fresco y las actividades de los operarios, posteriormente se evalúa la capacidad de la sección compuesta bajo las cargas de uso. Todas las viguetas del sistema de entrepiso son W18x35 en acero ASTM A572, tienen una luz de 9.875 m, y el ancho aferente para la carga es de 2.11 m para la mayoría; la carga última de diseño es de 27.08 kN/m, con lo cual se obtienen los siguientes índices de demanda-capacidad. Flexión 0.466, cortante 0.20. Se requiere la distribución de conectores de cortante tipo espigo de 3/4" de diámetro como se muestran en la figura 15 para garantizar que la sección compuesta pueda desarrollar esfuerzos plásticos; en la figura 16 se muestran los componentes típicos del sistema losa-vigueta.

Figura 15. Distribución de conectores de cortante

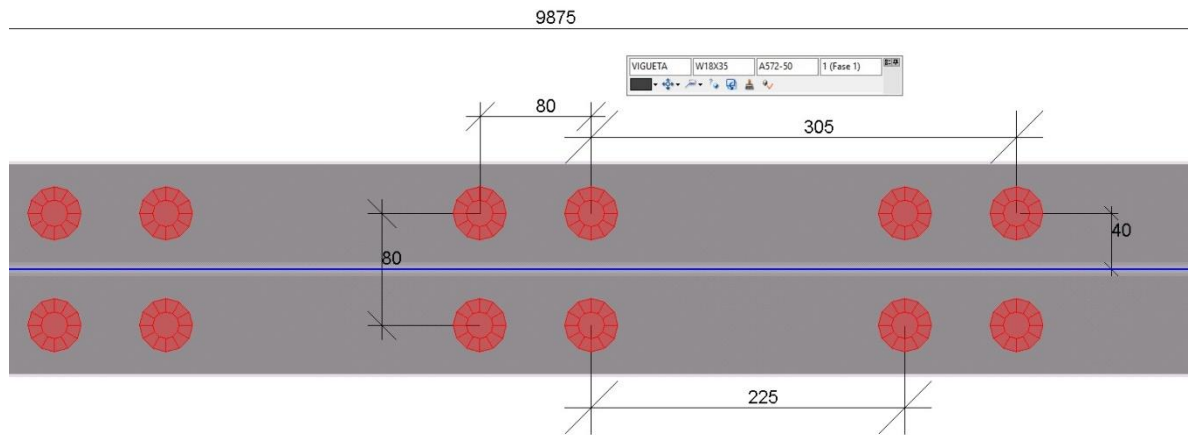
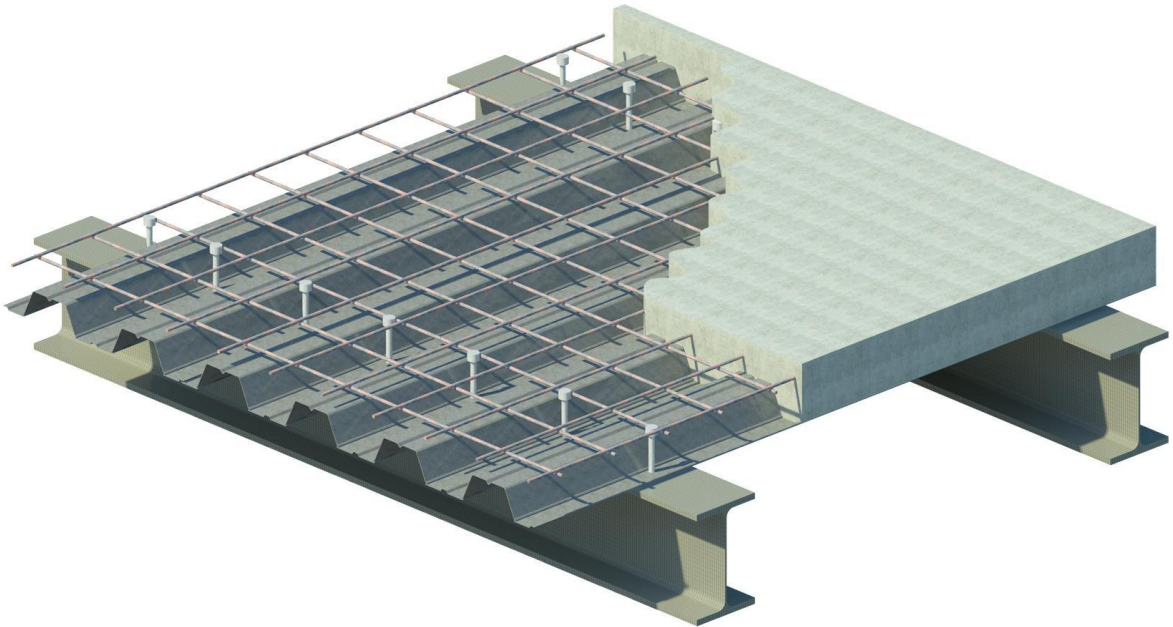


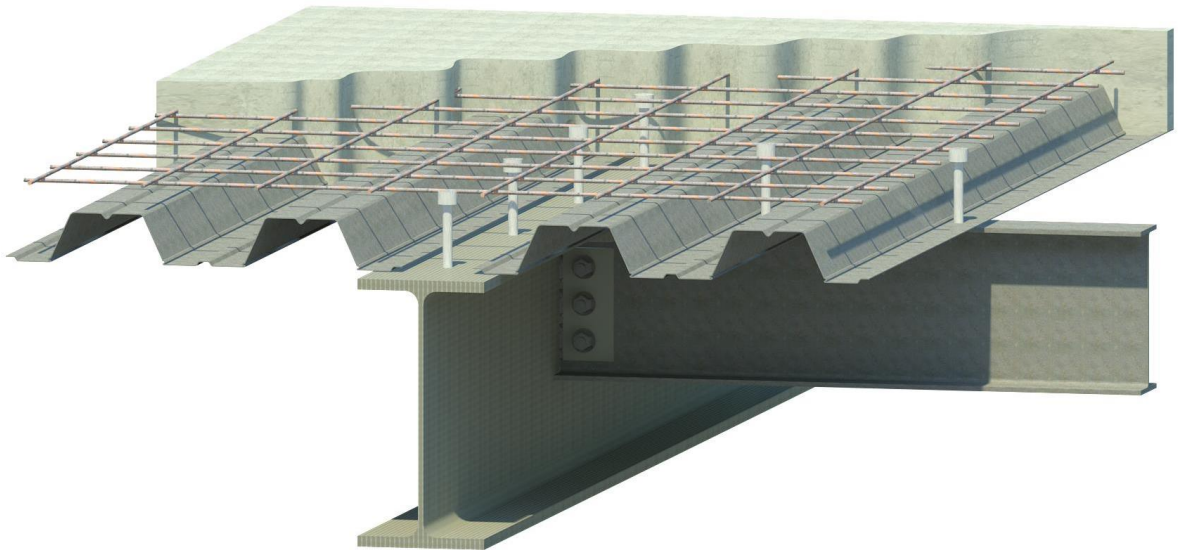
Figura 16. Componentes del sistema vigueta-losa colaborante



Fuente: PERALTA INGENIERIA S.A.S

Para las vigas compuestas se hace el chequeo de la viga central con sección W27x146 en acero ASTM A572; esta viga tiene una luz de 12.36 m y una afeencia de 9.875 m. La carga última distribuida por metro lineal es de 126.4 kN/m. Los índices de demanda-capacidad obtenidos son: Flexión 0.74, contante 0.40. Para lograr que se desarrollen esfuerzos plásticos en toda la sección compuesta se requieren tres filas de conectores de cortante en toda la longitud de la viga y con una separación de 0.2 m. En la figura 17 se muestra un detalle general de la configuración del sistema viga-losa y de todos sus componentes.

Figura 17. Componentes sistema viga-losa colaborante.

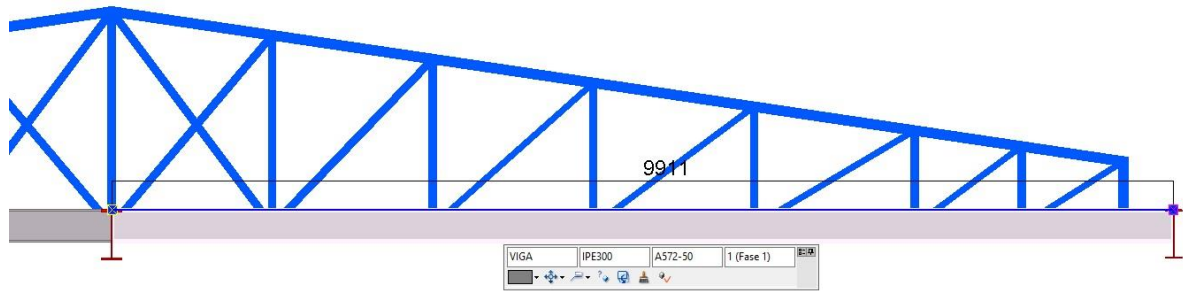


Fuente: PERALTA INGENIERIA S.A.S

Los índices de demanda-capacidad por resistencia de los miembros en sección compuesta son bajos al tener que usar perfiles de gran altura para controlar las deflexiones y las vibraciones del sistema de piso.

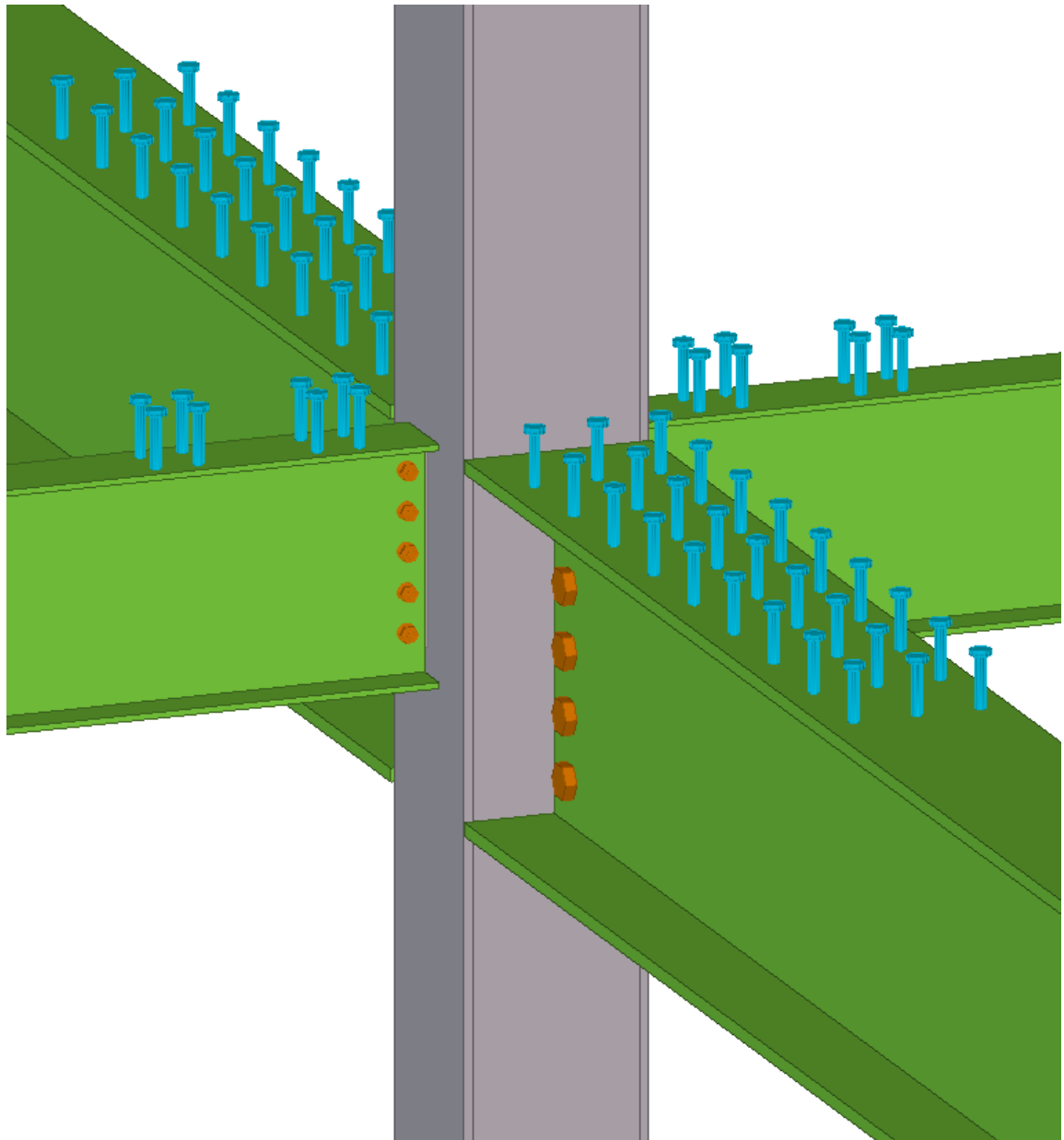
3.5.2.2 Chequeo del diseño de vigas de cubierta. Se realiza la verificación del diseño de las vigas de la cubierta; estas vigas son IPE 300 articuladas en sus extremos y su demanda de carga no es muy alta, puesto que solo sirven de cordón inferior de las cerchas de la cubierta liviana; su función principal es arriostrar las vigas y columnas de los PAC. Las solicitaciones de diseño de estas vigas se toman del modelo y son las siguientes: Flexión 28 kN·m, compresión 7.1 kN, cortante 5.2 kN. Estas vigas tienen una longitud no arriostrada de 5.25m. Los índices de demanda-capacidad obtenidos son los siguientes: combinación de flexión y compresión 0.36, contante 0.014. En la figura 18 se muestran detalles de las vigas.

Figura 18. Vigas IPE 300 de cubierta



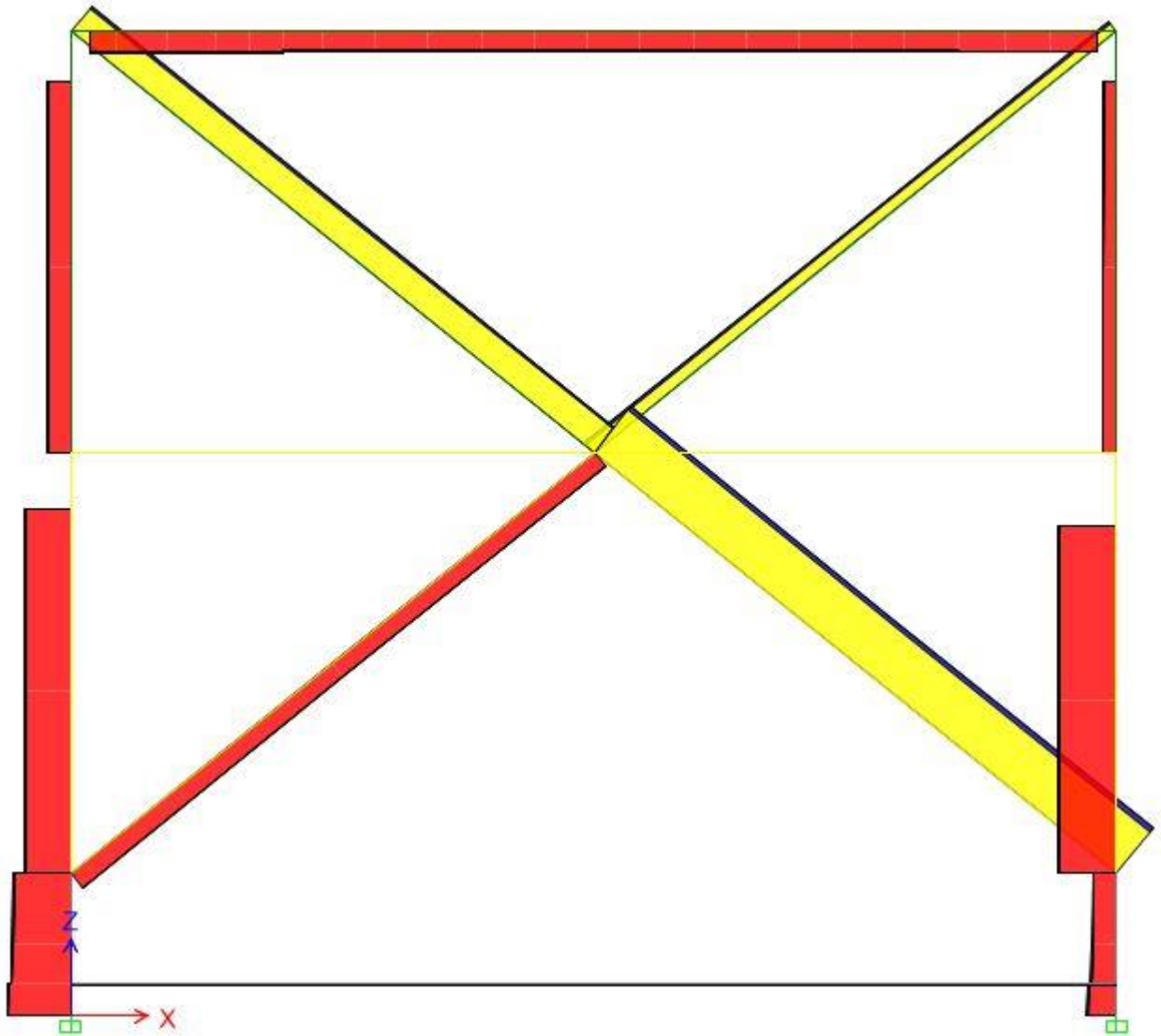
3.5.2.3 Chequeo del diseño de columnas armadas. Se realiza la verificación del diseño de las columnas del sistema de carga vertical; estas columnas son de sección rectangular armadas de 300x300x15.875 mm en acero ASTM A572. Se chequea la columna central, la cual tiene un área tributaria de carga de más de 120 m² por piso. Las cargas últimas de diseño son: Compresión 1768.3 kN, momentos y cortantes 0.0 kN. El índice de demanda-capacidad obtenido es de 0.28 por compresión. En la figura 19 se muestra la columna junto con algunos miembros que le transmiten carga.

Figura 19. Columna rectangular armada, en zona central



3.5.2.4 Chequeo del diseño de vigas y columnas de los PAC. Todas las vigas de los PAC son W18x65 en acero ASTM A572; estas vigas tienen luces de 9.875 m. Las vigas en la parte central de los PAC no tienen gran demanda de capacidad puesto que las fuerzas producto de la diferencia de la capacidad a tensión y compresión de las riostras se redistribuyen como se muestra en la figura 20.

Figura 20. Distribución de fuerzas laterales en PAC

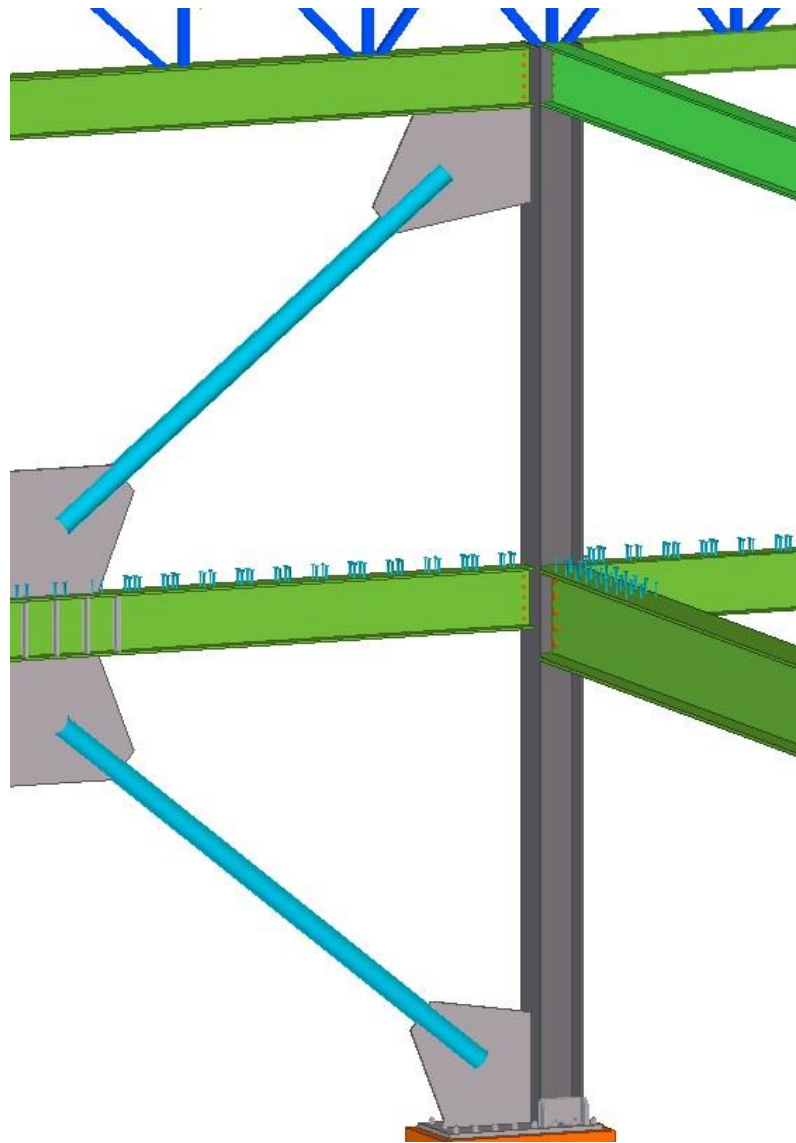


Las mayores fuerzas sobre las vigas centrales de los PAC son las siguientes: Compresión 0.0 kN, flexión 120.43 kN, cortante 57.15 kN. Los índices de demanda capacidades obtenidas bajo estas cargas son: flexión 0.18, cortante 0.06.

Las vigas superiores de los PAC están sometidas a las siguientes cargas ultimas; compresión 223.22 kN, flexión en el eje fuerte 9.52 kN·m, flexión en el eje débil 7.28 kN·m, cortante paralelo a las aletas 1.86 kN, cortante paralelo al alma 3.56 kN. Las vigas de los PAC en la dirección x, tiene una longitud no arriostrada de 5.87 m. Bajo estas condiciones los índices de demanda-capacidad obtenidos son: flexo-compresión 0.29, cortante 0.004.

Las columnas de los PAC son W14X90 en acero ASTM A572. Estas columnas se modelaron con articulaciones en los apoyos y orientadas de tal forma que la mayor capacidad a flexión contribuya a resistir las cargas laterales. Las máximas cargas a las que están sometidas estas columnas son las siguientes: compresión 1031.6 kN, flexión en el eje fuerte 57.6 kN·m, flexión en el eje débil 46.25 kN·m. Gran parte de la carga axial de la columna proviene de las cargas gravitacionales del sistema de piso, ya que en esta se apoya la viga compuesta central. Los índices de demanda-capacidad obtenidos para estas cargas son los siguientes: flexo-compresión 0.4. En la figura 21 se muestra la columna de los PAC con el mayor índice de demanda-capacidad.

Figura 21. Columna W14x90 con mayor carga



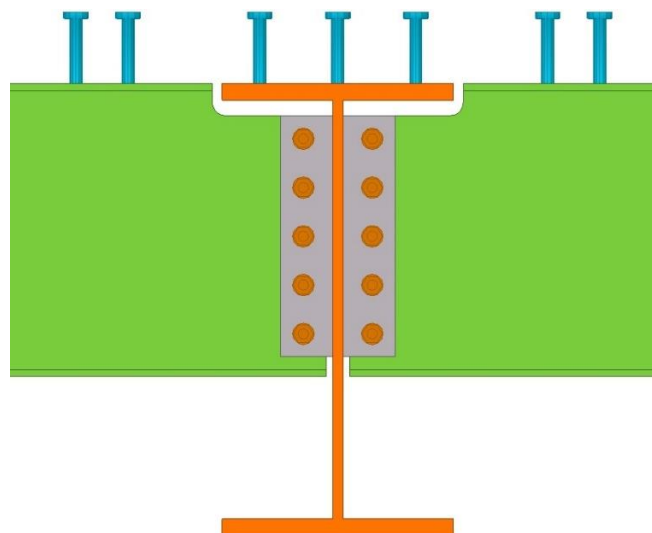
3.5.2.5 Chequeo del diseño de riostras. Todas las riostras son en tubería estructural circular de 6" de diámetro y 7.11 mm de espesor de pared, en acero ASTM A500 Gr C. El diseño de la riostra se hace bajo cargas de tensión, ya que en el modelo de la estructura se limitó la capacidad a compresión al 30% de la resistencia nominal a compresión como se exige en el numeral F.3.6.1.4 de la NSR-10. La mayor carga última de tensión en todas las riostras es 570 kN, para la cual se tiene un índice de demanda-capacidad de 0.503, bajo la condición de que la longitud de la conexión con las cartelas sea mayor a 1.3 veces el diámetro del tubo, para despreciar el resago por cortante.

Los resultados de las relaciones demanda-capacidad de los miembros evaluados con las herramientas desarrolladas difieren máximo en un 10% respecto a los calculados por el programa de análisis y diseño de estructuras.

3.5.2.6 Diseño de conexiones. Se realiza el diseño de las conexiones vigueta a viga, viga columna de los sistemas de cargas verticales y laterales.

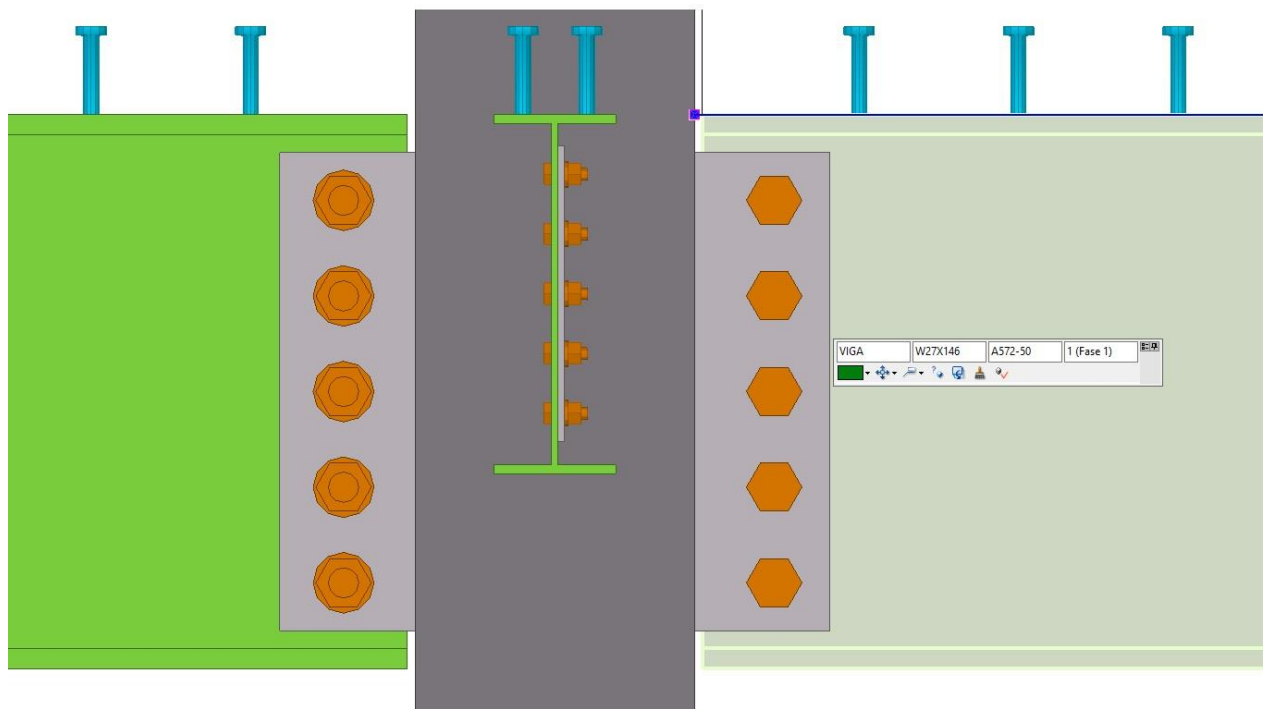
Conexión vigueta a viga. Las viguetas se conectan a la viga solo para transmitir cortante. El cortante de diseño para las conexiones de las viguetas es de 129.83 kN. El diseño se realiza aumentando la carga con un factor de 1.5. Para transmitir esta carga se requiere una platina de 380x80x7.93 mm de alto, ancho y espesor respectivamente en acero A36, cinco pernos con diámetro de 5/8" en acero A325 y soldadura de 70 KSI de resistencia en doble filete de 6.0 mm entre la platina y el alma de la viga. En la figura 22 se muestra la conexión descrita.

Figura 22. Conexión a corte entre vigueta y viga



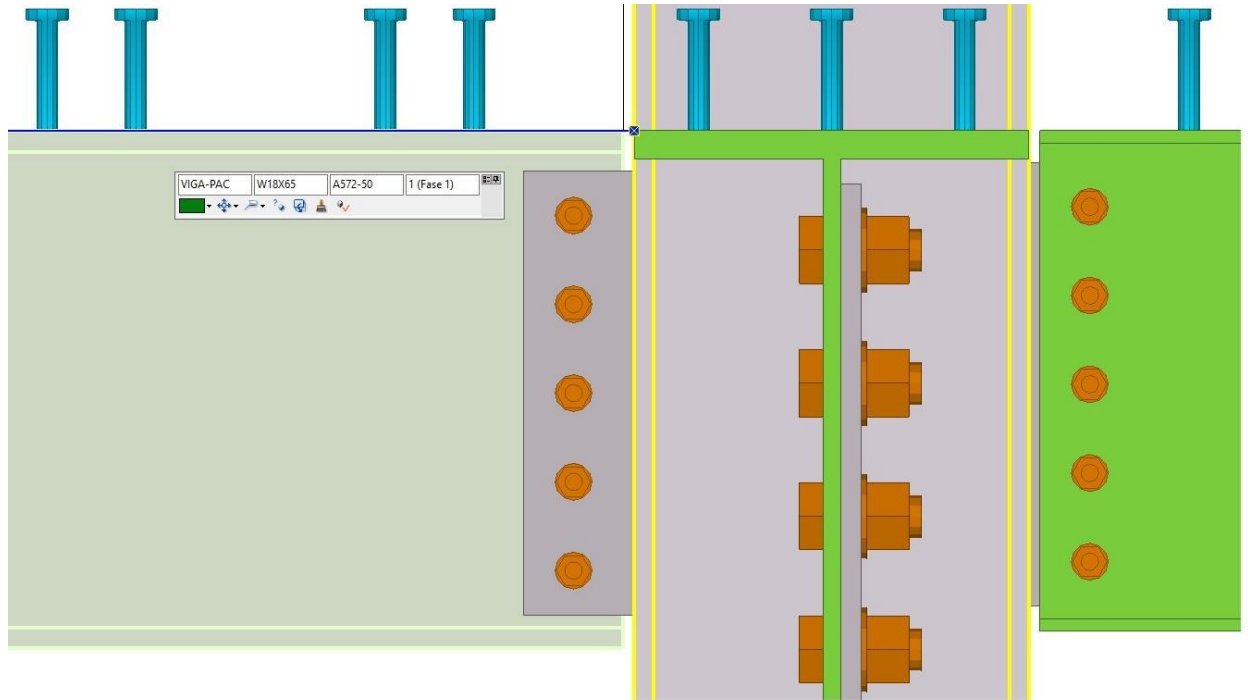
Conexión viga compuesta a columna rectangular. Se diseña la conexión a cortante entre la viga compuesta central y la columna rectangular. El cortante de diseño para esta conexión es de 781.3 kN y se aplica un factor de aumento de 1.8 debido a la importancia de la conexión. La conexión requiere platina a cortante de 600x170x19.05 mm de alto, ancho y espesor respectivamente en acero ASTM A572, cinco pernos con diámetro de 1 1/2" en acero A325, soldadura de 70 KSI de resistencia en doble filete de 3/8" entre la platina y la pared de la columna. En la figura 23 se muestra la conexión.

Figura 23. Conexión a corte entre viga W27x146 y columna rectangular



Conexión viga a columna PAC. Se diseña la conexión de la viga central a las columnas de los PAC. Esta conexión es a corte y se diseña para el 60% de la capacidad de la viga, puesto estas vigas están sometidas a cargas sísmicas. Esta conexión requiere una platina de 400x100x12.7 mm de alto, ancho y espesor respectivamente en acero A572, cinco pernos con diámetro de 7/8" en acero A325 y soldadura de 70 KSI de resistencia en doble filete de 3/8" entre la platina y la aleta de la columna. En la figura 24 se muestra la conexión.

Figura 24. Conexión viga-columna PAC



4 COMPARACIÓN ENTRE LOS DISEÑOS DE LA EDIFICACIÓN

Se comparan los dos diseños desde el punto de vista del peso de la perfilería de la estructura, para evaluar el impacto de las herramientas desarrolladas al aplicarlas al diseño. Para obtener el peso de la perfilería se hicieron los dos modelos en el programa Tekla Structures, el cual permite calcular las cantidades de forma rápida y precisa.

El diseño aquí presentado logró una reducción de 30% del peso de la estructura respecto al diseño que realizó el equipo de diseñadores de la empresa; para este análisis se incluyó el peso de toda la perfilería, inclusive las cerchas y correas de la cubierta.

5 CONCLUSIONES

- La modalidad de práctica empresarial permite aplicar y complementar conocimientos, al intervenir en la solución de necesidades técnicas de las empresas de ingeniería.
- En el desarrollo de las actividades de la práctica se adquieren conocimientos importantes para el desarrollo profesional, como lo son el manejo de software de modelado tanto de la estructura como la construcción
- El hecho de compartir con un equipo de ingeniería permite acceder de forma directa al conocimiento técnico y aplicado de los procesos de análisis, modelado y diseño de edificaciones para lograr mejores resultados de los diseños estructurales.
- Con las herramientas desarrolladas en la práctica aplicadas al diseño de las edificaciones se logra mayor control en el proceso de diseño y permite al ingeniero optimizar la estructura, cumpliendo los requisitos normativos.
- Al optimizar estructuras de acero, se hace necesario el uso de programas BIM, con el objetivo de plasmar todas las condiciones de diseño en un modelo tridimensional que represente dicha información.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Design Examples, 14.1 Version, Chicago Illinois, 2011.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, AISC/ANSI 358-16, Chicago Illinois, 2016.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Specification for Structural Steel Buildings, AISC/ANSI 360-16, Chicago Illinois, 2016.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Steel Construction Manual, 14th Edition, Chicago Illinois, 2011.

AMERICAN WELDING SOCIETY, Structural Welding Code – Steel. AWS D1.1/D1.1M, Miami Florida, 2010.

J. Fisher & L. Kloiber, Design Guide 1-Base Plate and Anchor Rod Design, Second Edition, AISC, Chicago Illinois, 2006.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. NSR-10, Bogotá, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. AIS, 2010.