

**EVALUACIÓN DE SISTEMA ESTRUCTURAL DE PORTICO RESISTENTE A MOMENTOS
EN ACERO UTILIZANDO EL PILOEDRE COMO ALTERNATIVA DE CIMENTACIÓN
SUPERFICIAL**



JHEIBER ANTONIO HURTADO BEYTAR

MAXIMILIANO ESCUDERO MORENO

UNIVERSIDAD CATÓLICA LUIS AMIGÓ

INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA CIVIL

MEDELLÍN

2022

**EVALUACIÓN DE SISTEMA ESTRUCTURAL DE PORTICO RESISTENTE A MOMENTOS
EN ACERO UTILIZANDO EL PILOEDRE COMO ALTERNATIVA DE CIMENTACIÓN
SUPERFICIAL**

JHEIBER ANTONIO HURTADO BEYTAR

jheiber.hurtadobe@amigo.edu.co

MAXIMILIANO ESCUDERO MORENO

maximiliano.escuderomo@amigo.edu.co

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil



ASESORA

LESLIE MILENA ARRUBLA VALENCIA

Ingeniera Civil

Especialista en Ingeniería Sismo Resistente

UNIVERSIDAD CATÓLICA LUIS AMIGÓ

INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERÍA CIVIL

MEDELLÍN

2022

DEDICATORIA

Quiero dedicar este triunfo a Dios y a quienes me acompañaron y me iluminaron durante mi proceso de educación, a mis padres Pedro Antonio Hurtado Pérez y Olivia Beytar Blandón quienes me dieron la vida y me regalaron día a día su amor y la oportunidad de estudiar y así lograr todos mis objetivos, a mis hermanos y hermanas por brindarme su apoyo incondicional, a mis familiares, amigos y compañeros de estudio que hicieron posible llegar a esta meta.

Jheiber Antonio Hurtado Beytar



DEDICATORIA

Primero que todo quiero dedicar este proyecto a mis padres Gloria Deisy Moreno y Héctor Hernán Escudero, quienes confiaron en mí desde el inicio de la carrera y motivaron siempre a lograr las mis metas, esta es una manera de retribuirles a ellos todo el trabajo que han hecho por mí, sólo queda agradecerles toda la vida por regalarme la oportunidad de estudiar y de formarme como la persona que soy hoy. Por último, quiero dedicar este triunfo a mi abuelo Carlos Aníbal que en paz descansa, siempre quiso verme crecer y lograr mis objetivos, aunque él no esté hoy, sé que me seguirá acompañando y apoyando toda la vida.

Maximiliano Escudero Moreno



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por habernos guiado y acompañado durante todo nuestro proceso de formación.

A nuestros padres y familia por ser nuestras guías durante este proceso de formación profesional y haber contribuido a realizar nuestro sueño de ser Ingenieros civiles.

A nuestra alma mater, Universidad Católica Luis Amigó por habernos acogido durante nuestro proceso de formación profesional.

A la Ingeniera civil Leslie Milena Arrubla Valencia y la docente María Julia Nieto Callejas por ser nuestras asesoras, por brindarnos su respaldo, su confianza y colaboración para la realización de este proyecto.

A todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto y quienes nos apoyaron durante toda nuestra formación académica.



Jheiber Antonio Hurtado Beytar

Maximiliano Escudero Moreno

CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
JUSTIFICACIÓN.....	14
OBJETIVOS.....	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
MARCO TEORICO	17
METODOLOGIA.....	21
RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	22
CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	36
CAPÍTULO 1. DIMENSIONAMIENTO MODELO ESTRUCTURAL MEDIANTE SOFTWARE ...	38
CAPÍTULO 2. MODELACIÓN, ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	42
CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN DE REUTILIZACIÓN DEL PILOEDRE Y LA ESTRUCTURA PARA GARANTIZAR NUEVOS USOS.....	71
RESULTADOS.....	89
CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g	25
Figura 2. Dimensiones nominales de la cimentación sometida a tracción	30
Figura 3. Dimensiones nominales de la cimentación sometida a compresión	31
Figura 4. Ejemplo de agrupación de 4 Piloedre.....	32
Figura 5. Disposición de estribos y tuerca.....	32
Figura 6. Modelo PM1.....	33
Figura 7. Modelo PM5.....	33
Figura 8. Modelo PP4	34
Figura 9. Alzado del Piloedre	35
Figura 10. Piloedre PM1	35
Figura 11. Guía para caracterizar el proyecto	37
Figura 12. Espectro elástico de aceleraciones de Diseño	37
Figura 13. Corte transversal de la estructura (unidades en m)	38
Figura 14. Corte longitudinal de la estructura (unidades en m)	39
Figura 15. Material para acero de la estructura.....	40
Figura 16. Propiedades sección elemento	40
Figura 17. Modelo estructural (Midas Gen).....	41
Figura 18. Story o distribución por piso (Midas Gen).....	42
Figura 19. Vigas articuladas en ambos extremos.....	43
Figura 20. Casos de cargas	43
Figura 21. Combinaciones de carga.....	44
Figura 22. Asignación peso propio.....	45
Figura 23. Tipo de carga de piso para losa	46
Figura 24. Tipo de carga de piso para cubierta	46
Figura 25. Herramienta para crear los casos de carga.....	48
Figura 26. Asignación de cargas vivas y muertas al modelo (unidades en KN).....	49
Figura 27. Espectro de diseño	50
Figura 28. Funciones del espectro de respuesta.....	50
Figura 29. Casos de carga dinámicos	51
Figura 30. Ventana de Structure Type	52
Figura 31. Ventana Mass Direction	53
Figura 32. Conversión de cargas a masas	54
Figura 33. Especificación carga de sismo s_x y s_y	55

Figura 34. Periodo aproximado de la estructura.....	56
Figura 35. Dirección sismo en Y (unidades en KN).....	56
Figura 36. Dirección sismo en X (unidades en KN).....	57
Figura 37. Especificación cargas de viento.....	58
Figura 38. Cargas de viento en X y Y (unidades en KN).....	58
Figura 39. Propiedades mecánicas del bloque de hormigón.....	59
Figura 40. Medidas del bloque de hormigón.....	60
Figura 41. Propiedades mecánicas del acero de las barras.....	61
Figura 42. Sección de barras de acero.....	62
Figura 43. Herramienta de Translate.....	63
Figura 44. Interpretación visual de la profundidad de las barras.....	63
Figura 45. Piloedre modelados en el software.....	65
Figura 46. Herramienta Rigid link.....	66
Figura 47. Barras empotradas al sólido del Piloedre.....	66
Figura 48. Micropilotes como barra de anclaje.....	67
Figura 49. Gráfica curva PY.....	68
Figura 50. Herramientas para añadir Curvas PY.....	69
Figura 51. Curva PY en el software.....	69
Figura 52. Aplicación de la curva PY al Piloedre.....	70
Figura 53. Herramienta para analizar el modelo.....	70
Figura 54. Conexiones a momentos.....	71
Figura 55. Parámetros para diseño de columna.....	72
Figura 56. Parámetros para diseño de la columna.....	73
Figura 57. Parámetros para diseño de la placa.....	74
Figura 58. Parámetros aplicación de fuerzas.....	75
Figura 59. Parámetros de diseño para conexiones simples.....	76
Figura 60. Ejemplo de conexión columna - Piloedre.....	77
Figura 61. Área de trabajo.....	78
Figura 62. Paquetes de Piloedre.....	78
Figura 63. Hincado de tubos de forma manual.....	79
Figura 64. Hincado de tubos de forma mecánica.....	79
Figura 65. Perforación con taladro.....	81
Figura 66. Herramientas.....	81
Figura 67. Martillo eléctrico.....	82

<i>Figura 68. Herramienta para el hincado de los tubos</i>	<i>82</i>
<i>Figura 69. Limitador de tubos.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 70. Útil de manipulación.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 71. Nivel de burbuja</i>	<i>84</i>
<i>Figura 72. Tapón de protección</i>	<i>84</i>
<i>Figura 73. Herramienta básica de desmontaje</i>	<i>85</i>
<i>Figura 74. Conexión del pasador y la herramienta a las barras de acero</i>	<i>86</i>
<i>Figura 75. Extracción de tubos.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 76. Herramienta especial de desmontaje</i>	<i>87</i>
<i>Figura 77. Gráfico de fuerza horizontal por piso.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 78. Combinaciones de carga para revisar derivas.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 79. Caso de carga gICB9 desplazamientos en todas las direcciones</i>	<i>97</i>
<i>Figura 80. Caso de carga gICB10 fuerzas verticales en kN.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 81. Nomenclatura de los nodos del Piloedre</i>	<i>98</i>
<i>Figura 82. Conexión viga columna 2W4X13 (3)-10.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 83. Conexión viga NERVIO 2W4X13 NERV (43)</i>	<i>104</i>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de A_a y A_v	23
Tabla 2. Valores de C_t y α	24
Tabla 3. Valores del coeficiente de importancia, I	25
Tabla 4. Derivas máximas como porcentaje de h_{pi}	27
Tabla 5. Valores del coeficiente F_a	28
Tabla 6. Valores del coeficiente F_v	28
Tabla 7. Clasificación de las unidades de construcción por categorías.....	29
Tabla 8. Barras de anclaje al terreno.....	29
Tabla 9. Esfuerzos máximos unitarios.....	31
Tabla 10. Modelos de Piloedre.....	34
Tabla 11. Distribución por piso.....	42
Tabla 12. Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales.....	47
Tabla 13. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.....	47
Tabla 14. Cargas vivas mínimas en cubiertas.....	48
Tabla 15. Standard Specification ASTM.....	61
Tabla 16. Resultados de estudio de suelos.....	68
Tabla 17. Tiempo de clavado según terreno.....	80
Tabla 18. Resultados de FHE (unidades para "seismic force" en KN).....	89
Tabla 19. Derivas en X.....	91
Tabla 20. Derivas en Y.....	92
Tabla 21. Desplazamientos en X (1 de 2).....	93
Tabla 22. Desplazamientos en X (2 de 2).....	94
Tabla 23. Desplazamientos en Y (1 de 2).....	95
Tabla 24. Desplazamientos en Y (2 de 2).....	96
Tabla 25. Reacciones en los nodos del Piloedre (desde la combinación de carga gICB7 hasta la gICB14).....	99
Tabla 26. Reacciones en los nodos del Piloedre (desde la combinación de carga gICB19 hasta la gICB26).....	100
Tabla 27. Resumen de cálculo conexión viga columna 2W4X13 (3)-10.....	101
Tabla 28. Resumen de cálculo conexión viga nervio 2W4X13 NERV (43).....	103

RESUMEN

En el siguiente trabajo de investigación se realizó una evaluación de sistema estructural mano portable de pórtico en acero resistente a momentos, utilizando zapatas aisladas prefabricadas (Piloedre) como alternativa de cimentación, además, como solución a las problemáticas que genera una cimentación superficial convencional, se determinó la viabilidad estructural de cimentaciones reutilizables de acuerdo con la Norma Sismo Resistente de 2010, por consiguiente, se comprobó que el sistema estructural mencionado también, puede ser reutilizable debido a que es una estructura metálica diseñada con conexiones pernadas para así facilitar el montaje y desmontaje del mismo.

Palabras clave. Piloedre, cimentación superficial, reutilizable, prefabricado, mano portable, estructura temporal.

ABSTRACT

In the following research work, an evaluation of the portable hand-held structural system of a moment-resistant steel portico was carried out, using precast isolated footings (Piloedre) as a foundation alternative, in addition, as a solution to the problems generated by a conventional superficial foundation, the structural feasibility of reusable foundations in accordance with the Norma Sismo Resistente de 2010, therefore, it was verified that the mentioned structural system can also be reusable because it is a metallic structure designed with bolted connections to facilitate the assembly and disassembly of the same.

Keywords. Piloedre, superficial foundation, reusable, prefabricated, portable hand, temporary structure.

INTRODUCCIÓN

El tema principal que se lleva a cabo dentro de la investigación son las edificaciones netamente reutilizables, desde su estructura hasta su cimentación y así optar por obras civiles que generen el mínimo impacto ambiental al entorno y que se puedan reutilizar, por esto se requieren alternativas de cimentaciones que puedan ayudar a mitigar ese impacto. Es decir, tener estructuras que se puedan desmontar y que no generen grandes alteraciones al entorno, cómo lo son las estructuras temporales.

La construcción de cimentaciones superficiales tipo zapatas aisladas genera grandes afectaciones de forma permanente al suelo, ocasionando así en la mayoría de los casos daños irreparables para este, debido a eso se ha pensado en la idea de utilizar o implementar tipos de cimentación que ofrezcan una mínima afectación al entorno, para así mitigar el impacto ambiental que generan las cimentaciones convencionales.

El uso de cimentaciones temporales y reutilizables como el Piloedre, genera mínimas alteraciones al sitio de instalación, permitiendo así que este sistema de cimentación superficial sea una alternativa adecuada para reemplazar las cimentaciones convencionales que afectan al terreno de forma permanente.

Entonces con alternativas como el Piloedre y estructuras desmontables, se pueden lograr edificaciones para grandes usos, como lo son viviendas temporales o de resguardo, bodegas de almacenamiento para material o mercancía, oficinas locales, entre otros. Dando la prioridad de que la edificación pueda ser llevada de un lugar a otro, generando mínimo impacto ambiental y menos procesos constructivos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Medellín, está catalogada como una zona de amenaza sísmica intermedia, con una densidad poblacional bastante elevada, debido a esto se ve obligada a seguir construyendo muchos más edificios y expandiéndose hacia sus laderas. Además, recientemente se han venido presentando problemas de inundaciones, deslizamientos de tierra y tormentas eléctricas de gran magnitud en la ciudad, provocando así, que las personas que viven en las laderas sean las más afectadas, hasta el grado de perder su vivienda y cualquier otro patrimonio.

Esta problemática se convierte en un tema de salud pública cuando las personas pierden sus hogares, pues la estrategia del gobierno más rápida y fácil es que estas personas se vean en la necesidad de ir a escenarios públicos, deportivos y educativos como hogar de resguardo; esto como respuesta del gobierno. Lo que se genera en estas edificaciones, son posibles daños que pueden ser permanentes, además, el uso de estas se ven modificadas generando más deterioro.

Adicionalmente, en el sector de la construcción, en donde se cuenta con la tecnología y equipo profesional suficientemente capacitado para realizar un proyecto en el cual al mismo tiempo es muy importante contar con espacios de almacenamiento suficiente, para guardar materiales para la ejecución de la obra, estos acopios suelen ser estructuras temporales de tipo bodega que son muy útiles para este fin. La construcción de estos suele ser de distintos materiales como madera, acero o concreto, en el caso de la madera es muy susceptible a daños y deterioros de mayor grado, para el acero y concreto son imprescindibles en la construcción de zapatas convencionales, que comúnmente cuando finaliza la obra los cimientos quedan en el terreno y por ser una actividad dispendiosa ocasionan contaminación y daños del suelo, que cuando se quiera reutilizar el terreno será más costoso realizar una demolición.

Para mejorar la problemática mencionada anteriormente, se plantea en este trabajo de investigación efectuar un modelo computacional donde se evalúe una estructura temporal tanto desde la cimentación como en el sistema estructural en el cual se pueda presentar como opción de bodega de almacenamiento o de vivienda temporal, además de la solución para este problema, ya que cumple con ser un sistema mano portable, con la condición de que se use para una cimentación superficial, la estructura deberá ser en acero, puesto que este material es más ligero y puede ser ensamblados, es decir, toda la estructura junto con la cimentación puede ser reutilizados y transportados de un lugar a otro, además de esto tendremos ventajas económicas para el reuso de la edificación que se pueda llevar a cabo.

JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que las estructuras pueden dañar el terreno y afectar la zona ambiental en la que está, es decir, su ecosistema. Se plantea la idea de poder realizar edificaciones o estructuras temporales, evitando un daño permanente por un uso temporal o cambiar el uso del terreno, y con esto resulta, generar mejores obras civiles, optimizando tiempos de construcción, por lo que se busca implementar una alternativa de cimentación superficial, temporal y recuperable, tal como se menciona en la página web diccionario online “Piloedre es un sistema totalmente prefabricado que busca reemplazar las cimentaciones convencionales por estructuras ligeras, este se caracteriza por ser adaptable a diversas estructuras, desmontable y reutilizable” (Zuloaga, 2020).

Incluso en el diseño y construcción de edificaciones se requiere utilizar diferentes materiales que son costosos y generan un alto impacto ambiental. Lo anterior es debido al descapote y daños al suelo generados por el sistema constructivo para una cimentación. (Torres et al., 2021), en la investigación titulada “Sostenibilidad ambiental en la minería de materiales aluviales: el caso de Río Negro, Dibulla” menciona que se evaluaron 20 parámetros ambientales y encontraron que el mayor impacto ambiental se debe al descapote. También la ley 1523 del 2012 de Colombia, establece que el sistema nacional de riesgo de desastres, son los encargados de monitorear los desastres y de un proceso social orientado a la reducción del riesgo (Congreso de Colombia, 2012), es decir, que son los que responden ante la comunidad frente a cualquier desastre, donde las personas afectadas que pierden su hogar, se ven ligadas a estar en escenarios que no sus viviendas. Generando que estas estructuras temporales de resguardo que en su mayoría son educativas, públicas y deportivas cambien su uso para atender la emergencia, provocando que se deterioren las instalaciones, que afecten el terreno, es decir que todo su entorno ambiental se vea modificado por la emergencia.

Así pues, buscando mitigar la problemática planteada y brindar una solución óptima es que se pretende establecer una edificación temporal y mano portable, que nos permita llevar la estructura de un lugar a otro, reduciendo así ese impacto ambiental. Es aquí donde utilizar cimentaciones temporales o recuperable toma fuerza en pro de mejorar las condiciones sociales, ya que dicha edificación puede solucionar la emergencia que generan los desastres y así no se tenga que acudir a centros deportivos y educativos.

Por estos motivos, es necesario crear estructuras ligeras y reutilizables de forma rápida y práctica, para generar una disminución del impacto ambiental, social y económico de una

comunidad. Es decir, podemos implementar un buen uso para las estructuras donde se puedan reutilizar de manera fácil y rápida utilizando cimentaciones recuperables como alternativa de cimentación.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar sistema estructural mano portable de pórtico resistente a momentos en acero utilizando el Piloedre como alternativa de cimentación superficial para estructuras temporales reutilizables bajo lineamientos de la NSR-10.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir estructura tipo bodega de pórtico en acero para utilización del Piloedre como alternativa de cimentación.
- Determinar la viabilidad estructural de las cimentaciones tipo Piloedre de acuerdo con la norma NSR-10.
- Validar la reutilización del Piloedre y la estructura para garantizar nuevos usos.



MARCO TEORICO

El suelo es el resultado de la meteorización de las rocas, además es la capa más superficial de la corteza terrestre y está compuesto por un amplio número de minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos (ICG.CAT, 2022). Al respecto en el suelo se puede construir la cimentación que es un grupo de elementos que tienen como función transmitir las cargas de la estructura distribuyéndolas con el fin de no exceder la capacidad portante del suelo (Alicaresp, 2018).

Además, la cimentación es el proceso constructivo de una edificación necesario para soportar las cargas de la misma y que a su vez las transmite hasta el terreno (Cueva del civil, 2018). Así mismo, la cimentación se subdivide en cimentaciones profundas y cimentaciones superficiales, que esta última es un tipo de cimentación que descansa a poca profundidad, es decir, se mantienen en capas superficiales del suelo, por lo que es común verlas en edificaciones livianas (Alicaresp, 2018). En tal sentido la zapata es un tipo de cimentación superficial que se usa en suelos con resistencia media o alta en terrenos particularmente homogéneos, también nos permite transmitir las cargas que se ocasionan en la estructura a un terreno con capacidad portante suficiente (Arcus global, 2017), es así como los tipos de zapata se clasifican en zapatas aisladas, estas son tipo dados de concreto reforzado con geometría rectangular o cuadrada de acuerdo con diseños, se usan en suelos de baja compresibilidad de mediana y alta capacidad de carga, de igual modo las zapatas corridas o continuas se utilizan cuando las zapatas aisladas se encuentran a una distancia relativamente corta, hay presencia de discontinuidades en el terreno o incluso gran cantidad de asentamientos diferenciales (Alicaresp, 2018).

Las losas de cimentación son otro tipo de cimentación superficial que básicamente es una zapata combinada pero que recubre todo el espacio donde se va a cimentar la estructura, éstas son utilizadas cada vez que las cargas del edificio son muy altas por lo cual las zapatas aisladas y corridas no soportarían tal peso de la edificación, entonces este tipo de cimentación tiene como objetivo evitar asentamientos diferenciales causados por la deformación del suelo (Fine software, 2022).

Actualmente existen tipos de cimentación superficial como el Piloedre que es un sistema de cimentación superficial prefabricado de venta en España, para estructuras ligeras, está integrado por un cubo de concreto armado y 4 tubos entrelazados entre sí y que se hincan al terreno además hay 3 modelos de Piloedre, PM1, PM5 y PP4 cada modelo se caracteriza por tener un

modo de fijación diferente como lo es rosca hembra en centro de cara superior, rosca hembra en centro de cara superior y 4 roscas hembra perimetrales, que permiten la conexión a través del agujero central pasante respectivamente (Piloedre, 2017).

En ese mismo contexto se puede describir a el candelero el cual es un tipo de conexión que consiste en introducir parte de una columna prefabricada a una zapata, así como una vela a un candelabro, una vez la columna es insertada en la cimentación el contacto ocasionado por las superficies de los elementos causa que el sistema sea resistente a cargas y momento de baja y media demanda (Penagos Congote y José Fernando, 2017), del mismo modo una placa industrial que consiste de una base o cimiento portátil que va conectada a un perímetro de concreto con pernos de anclaje (Ingeniería y construcción, 2020). Otro tipo de cimentación son las cimentaciones profundas que son las encargadas de transmitir cargas a los estratos más resistentes del suelo, estas se utilizan cuando los esfuerzos no se pueden repartir con un tipo de cimentación superficial, por ello cuando el suelo es un tipo de relleno o no posee la capacidad portante requerida se debe utilizar cimentaciones profundas, también cuando se necesita construir edificios de gran altura, ya que estos están sometidos a grandes cargas vivas, muertas, de sismo y de viento (Ing. Coral M, 2019).

De igual manera la estructura es un grupo de elementos que están relacionados entre sí con el fin de formar parte de un mismo sistema, y soportar las diferentes cargas de la edificación, además garantizar factores de rigidez, estabilidad y equilibrio (Equipo editorial Etecé, 2021), Sumado a eso una estructura ligera es aquella que está compuesta por algún material liviano como aluminio o acero, además poseen gran resistencia, pero a un peso reducido, este tipo de estructuras permiten construir de forma rápida, económica y sostenible (Gerdau Corsa, 2020), así mismo para la construcción de una estructura necesitamos de materiales como el concreto que es la mezcla de agua y materiales áridos provenientes de la roca como el triturado y la arena, también de materiales aglomerantes como el cemento (Adrián, 2022), de la misma manera existen diferentes tipos de concretos, uno de ellos es el concreto armado que es la combinación de concreto y acero, que este último se conforma por aleación de hierro con pequeñas cantidades de carbono, este por sí mismo resistente a la compresión y tracción, mientras que el concreto sólo es resistente solamente a la compresión, es por eso que el concreto armado es un buen material para construcción de estructura y cimientos (Como funciona que, 2022).

Un prefabricado es un elemento en el que los diferentes materiales se fabrican o ensamblan en lugares diferentes para luego unirse en un mismo sitio (Westreicher, 2021), así mismo el concreto prefabricado es generalmente elaborado en plantas industriales que se fabrica en un ambiente controlado, permitiendo así una calidad del concreto adecuada, cabe mencionar que se puede fabricar elementos de concreto prefabricado estructural y no estructural, con diferentes formas y tamaños, según requerimientos del cliente (Becosan, 2020), así pues el concreto reciclado es aquel que en su mayoría proviene de demoliciones, de otras construcciones y que además se aprovecha como agregado para una nueva mezcla de concreto (Echeverry, 2022), en ese mismo contexto una estructura reutilizable es aquella que de acuerdo a su uso se puede utilizar nuevamente, además con funciones y características de resistencia diferentes a las originales (Reverso Diccionario, 2022).

El acero es una aleación de hierro y de bajos porcentajes de carbono, existen diferentes tipos de acero entre los que sobresale el acero de refuerzo que es un material indispensable para la construcción debido a sus propiedades estructurales (UNESID, 2022), que para garantizar dichas propiedades se cuenta con normas que regulan el acero como, la AISC en sus siglas en Inglés, que traduce al Español como Instituto Americano de Construcción de Acero, que se encarga de establecer criterios para el diseño, fabricación y montaje de edificios de acero estructural (docsity, 2019), la AISC toma en cuenta aceros estructurales de la Norma ASTM, en sus siglas en Inglés, que traduce al Español como Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales, que es la organización encargada de desarrollo de estándares internacionales de consenso voluntario (Asociación Española para la Calidad (AEC), 2022).

La resistencia mecánica del acero se define como la capacidad de los materiales para resistir cargas sin romperse y depende de su geometría y densidad (Construmatica, 2022), de igual forma un pórtico en acero es un tipo de estructura de marco rígido resistente a momentos y que está conformado por columnas y viga respectivamente conectadas entre ellas (Estructuras metálicas Colombia, 2022), sumado a eso, la viabilidad estructural, consiste en realizar análisis para determinar la calidad y funcionamiento de una futura estructura, y así mismo su probabilidad para decidir si se puede llevar a cabo o no, del mismo modo factibilidad económica es evaluar la posibilidad que tiene un proyecto de poder realizarse (Rus Arias, 2022).

Para diseñar proyectos estructurales de manera adecuada es importante contar con ayuda de software de diseño asistido por computadora como AUTOCAD, que se utiliza para dibujar, diseñar y modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla y características de documentación (Autodesk Latinoamérica, 2022). Al igual la ayuda de software

como MIDAS DESIGN+, que sirve para el diseño de elementos aislados estructurales y no estructurales, además MIDAS GEN, que es un software para análisis y diseño de edificaciones y estructuras generales con amplias opciones que permiten modelar de manera eficiente todo tipo de estructuras (Midasoft, 2022), desde MIDAS GEN también, se puede modelar el suelo mediante el uso de curvas P-y, que nos sirven para analizar la interacción suelo – estructura, mediante la relación no lineal de estos. Una curva P-y se obtiene a partir de ensayos de pilotes a escala real en el terreno en que se quieren instalar, por lo que se debe contar con un estudio de suelos, donde el parámetro más importante a tener en cuenta es la reacción del suelo, que las curvas P-y, permiten relacionar dicha reacción con desplazamientos a una profundidad determinada (Carrillo Herrero et al., 2018).



METODOLOGIA

Este trabajo se realiza mediante una investigación cuantitativa y de manera tal que permita el estudio y análisis del modelo propuesto de acuerdo a la NSR-10 para llegar a la construcción de estructuras seguras, temporales y reutilizables, por lo que, para llevar a cabo dicho trabajo se deben ejecutar las siguientes actividades:

1. Definir dimensiones de la estructura tipo bodega o vivienda temporal de pórtico en acero y plantear cimentaciones superficiales siendo el Piloedre la alternativa de cimentación.

1.1 Dimensionar modelo estructural y parametrizar mediante software.

1.2 Modelar, analizar y diseñar estructura, mediante software de diseño estructural.

2. Determinar la viabilidad estructural de las cimentaciones tipo Piloedre de acuerdo con la norma NSR-10.

2.1 Aplicar método de fuerza horizontal equivalente.

2.2 Aplicación de parámetros del suelo.

3. Validar la reutilización de la estructura y el Piloedre para garantizar nuevos usos.

3.1 Verificar conexiones de la estructura.

3.2 Conexión estructura - Piloedre.

3.3 Instalación y desinstalación del Piloedre.

RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Metodología de diseño

A. Método de la fuerza horizontal equivalente (FHE)

El reglamento sismorresistente colombiano (NSR-10) en el título A, menciona que FHE es un método para análisis sísmico para:

- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, en las zonas de amenaza sísmica baja.
- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso I , localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia.
- Edificaciones regulares, de 20 niveles o menos y 60 m de altura o menos medidos desde la base, en cualquier zona de amenaza sísmica.
- Edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles ni más de 18 m de altura medidos a partir de la base.
- Estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras más rígidas que cumplan los requisitos de A.3.2.4.3, los cuales son estructuras flexibles apoyadas sobre otra con mayor rigidez.

Con este procedimiento se logra considerar las fuerzas sísmicas para el diseño del proyecto (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes et al., 2010, A-45)

Además, la NSR-10 en el capítulo A, A.2.1.1 categoriza los movimientos sísmicos en Colombia en tres categorías alta, intermedia y baja, donde estos parámetros están en función de A_a y A_v que son aceleración pico efectiva y velocidad pico efectiva, respectivamente en la tabla 1 se muestran estas consideraciones para estudios de diseño.

Tabla 1. Valores de A_a y A_v

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincedejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: NSR-10, Título A

Los siguientes parámetros a tener en cuenta son el periodo fundamental de la estructura y el espectro de aceleraciones, T (periodo fundamental) de obtenerse bajo la resistencia sísmica y principios de dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura. Este periodo se puede calcular de forma alternativa bajo de un periodo fundamental aproximado (T_a), dado en la siguiente ecuación.

$$T_a = C_t h^\alpha \text{ ecuación. (A.4.2-3 de NSR-10)}$$

Según la NSR-10 capítulo A en el apartado A.4 los valores de C_t (coeficiente para calcular el periodo de la estructura) y α se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Valores de C_t y α

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Fuente: NSR-10, Título A

El siguiente parámetro a considerar es el coeficiente de importancia en donde según la NSR-10 en el capítulo A en el apartado A.2.5.1 lo define según el grupo de uso, en donde se obtienen las siguientes categorías:

- Grupo IV hacen parte de las edificaciones indispensables, son de servicio a la comunidad y deben funcionar ante cualquier evento sísmico antes, durante y después del sismo.
- Grupo III hacen parte las edificaciones de atención para la comunidad, son aquellas que después de un temblor deben acudir ante la emergencia.
- Grupo II edificaciones de ocupación especial, lugares donde se puedan reunir más de 200 personas a la vez .
- Grupo I son las edificaciones que no hacen parte del resto de los grupos, como lo son casas individuales.

El coeficiente de importancia definido como 1 pertenece al grupo de uso 1, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coefficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Fuente: NSR-10, Titulo A

Obteniendo todos estos parámetros, de A_v , F_v , I , y T se configura el espectro de aceleraciones que básicamente proyecta el periodo de oscilación de una estructura frente a una vibración en este caso un sismo. El cual se determina mediante S_a , que es la forma del espectro elástico de aceleraciones. La fórmula de S_a y el espectro se muestran en la siguiente figura.

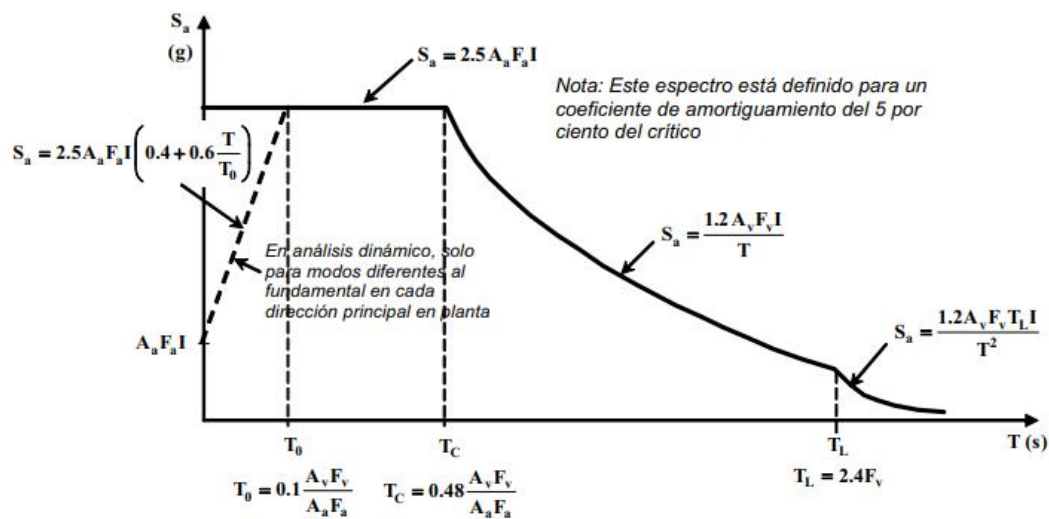


Figura 1. Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Fuente: NSR-10, Titulo A

Según los resultados obtenidos de aceleración, se puede encontrar, las fuerzas sísmicas horizontales equivalentes “equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Comisión Asesora Permanente para el

Régimen de Construcciones Sismo Resistentes et al., 2010, A-65). Entonces se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$V_s = S_a g M$$

Donde

g= Gravedad (9.8 m/s²)

M= Masa total de la edificación

S_a= Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un período de vibración dado.
Máxima aceleración horizontal de diseño

V_s= Cortante basal o cortante sísmico

Así entonces con este último parámetro, se calcula la fuerza sísmica por piso denominada "F_x", mediante la siguiente ecuación se puede cuantificar

$$F_x = C_{vx} V_s$$

Donde

F_x= fuerzas sísmicas horizontales en los niveles

V_s= cortante basal

C_{vx}= coeficiente definido como la masa por piso por la altura del nivel elevado a un coeficiente k sobre la masa total del edificio

y k es un valor que se determina a partir de lo siguientes factores, donde T es el periodo fundamental de la estructura.

- Para $T \leq 0.5$ segundos, k 1.0
- Para T entre 0.5 y 2.5 segundos, $k = 0.75 \cdot 0.5T$
- Para $T > 2.5$ segundos, k 2.0 .

Entonces como resultado de todo este método de FHE que se debe esperar, un desplazamiento horizontal de la estructura, la distribución de fuerzas por piso (V_s), los esfuerzos de las fuerzas del sismo en la cimentación y por último las fuerzas internas de cada elemento estructural que haga parte del análisis, es decir la estructura.

Derivas

Es el desplazamiento horizontal entre dos puntos diferentes colocados a la misma altura vertical, existe el concepto de deriva máxima que para cualquier piso se determina bajo los parámetros de la siguiente tabla.

Tabla 4. Derivas máximas como porcentaje de h_{pi}

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ($\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi}$)
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ($\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi}$)

Fuente: NSR-10, Título A

h_{pi} Es la altura del piso i , medida desde la superficie del diafragma del piso i hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior. Δ_{max}^i es deriva máxima para cualquier punto del piso i .

B. Estudios geotécnicos para cimentaciones superficiales

Perfil del suelo

La NSR-10 en el capítulo A define seis categorías para el suelo

- Suelo A perfil de roca permanente.
- Suelo B perfil de roca con una rigidez media.
- Suelo C perfiles de roca blanda o muy densos.
- Suelo D perfiles de suelos rígidos.
- Suelo E perfil de arcillas blandas o con un espesor de 3 metros por capa.
- Suelo F se pueden definir como perfiles complicados, que deben ser revisados en el sitio y por un ingeniero geotecnista.

Siguiendo con los cálculos para el método de la fuerza horizontal equivalente, se tiene dos parámetros del suelo F_a y F_v que son “coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional y coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional. Respectivamente”. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Comisión Asesora Permanente para el Régimen de

Construcciones Sismo Resistentes et al., 2010, A-13). Los valores para F_a están dados en la tabla 5 y para F_v se tiene la tabla 6, estos dos coeficientes son de amplificación del suelo, los cuales afectan al periodo fundamental de la estructura, las dos tablas fueron tomadas del título A de la NSR-10.

Tabla 5. Valores del coeficiente F_a

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: NSR-10, Titulo A

Tabla 6. Valores del coeficiente F_v

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: NSR-10, Titulo A

Estudios geotécnicos

Toda estructura de cualquier grupo de uso debe cumplir con estudios geotécnicos que den información acerca del suelo y subsuelo, lo que se obtiene con estos parámetros es dar recomendaciones geotécnicas para un mejor diseño a la hora de hacer una cimentación, excavación o reforzamiento, etc.

Cimentaciones superficiales

La cimentación es un conjunto de elementos estructurales, cuya misión es transmitir su carga y la de los elementos apoyados en ella hacia el suelo, distribuyéndolos de forma que no superen la presión admisible.

La cimentación superficial sigue un patrón según sus niveles desde uno hasta tres niveles con profundidades y que no superan los cuatro metros de profundidad. (Construmatica, 2018).

Clasificación de las unidades de construcción por categorías.

Según los niveles se pueden clasificar las unidades de construcción y tener cargas máximas de servicio en columnas, con el fin de tener un resultado aproximado para el diseño de una cimentación.

Tabla 7. Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: NSR-10, Título H

C. Diseño del Piloedre

De acuerdo con lo mencionado en párrafos anteriores, se establece que el Piloedre es un cubo de concreto armado que va anclado al terreno con la ayuda de cuatro barras conectadas e inclinadas a un ángulo de 40° respecto a la vertical, las barras pueden tener dos tipos de longitud, de 900 mm y 1200 mm (ITeC, 2017; Piloedre, 2017).

Tabla 8. Barras de anclaje al terreno

Tipo de tubo	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)
1	42,9 ± 1,0	2,9 ± 0,2	900 ± 50
2			1.200 ± 50
1 especial	42,9 ± 1,0	4,0 / 5,0 / 6,0 / 7,0 ± 0,2	900 ± 50
2 especial			1.200 ± 50

Fuente: DAU Piloedre

Estos tubos pueden o no estar galvanizados acorde a la vida útil del proyecto, dichas barras son tubos de acero estructural avalados por la norma internacional American Petroleum Institute o en sus siglas API (ITeC, 2017).

La variación de longitud de los tubos se debe a posibles problemas en el hincado de estos a diferentes tipos de terrenos.

El bloque de concreto puede ir enterrado conforme a esfuerzos a los que está sometido, ya sea a tracción o compresión como se puede observar en las siguientes figuras, con medidas en mm y con dos tipos de tubos.

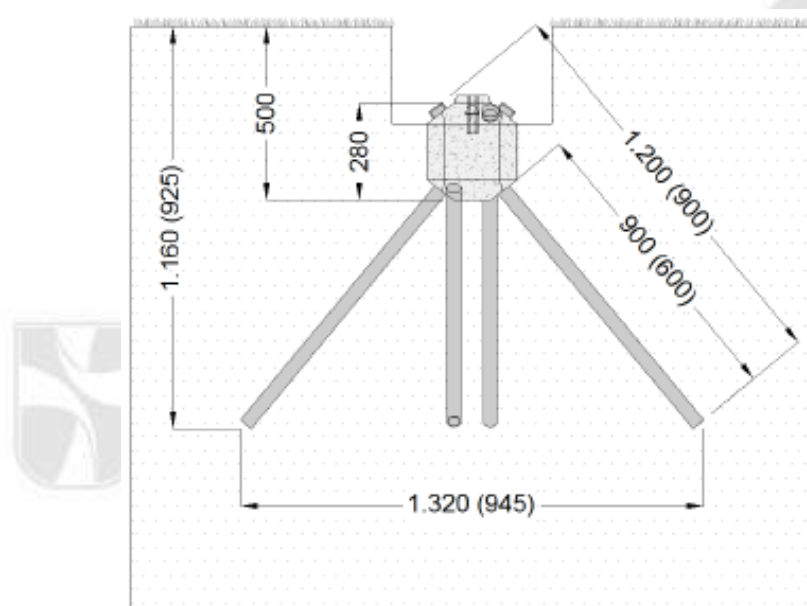


Figura 2. Dimensiones nominales de la cimentación sometida a tracción

Fuente: DAU Piloedre

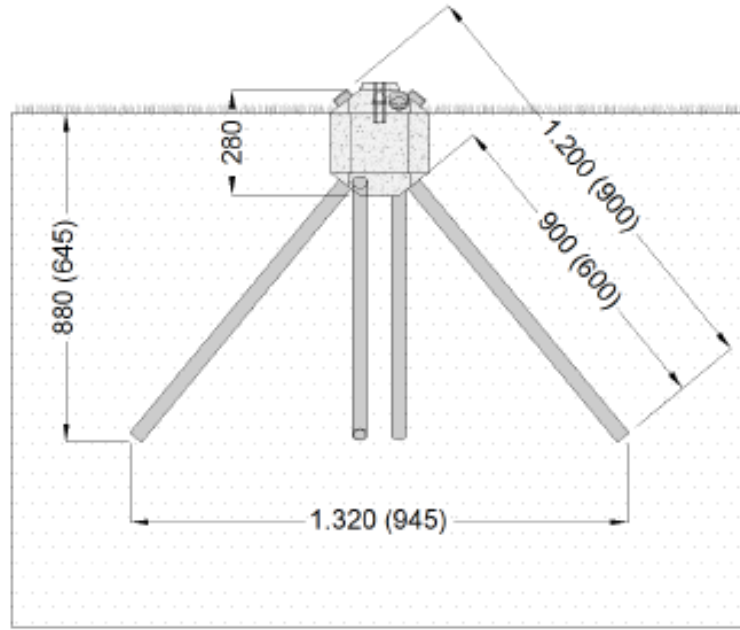


Figura 3. Dimensiones nominales de la cimentación sometida a compresión

Fuente: DAU Piloedre

El Piloedre está destinado para usos permanentes o temporales soportando así las siguientes cargas:

Tabla 9. Esfuerzos máximos unitarios

Esfuerzo unitario	Valor máximo
Compresión	100 kN
Tracción	25 kN
Momento flector	6 kN·m
Esfuerzo horizontal	20 kN

Fuente: DAU Piloedre

Sin embargo, estos valores podrían verse reducidos con la presencia de varios esfuerzos, por consiguiente, la combinación de varios Piloedres ayuda a incrementar los esfuerzos máximos admisibles, para el siguiente ejemplo los esfuerzos del Piloedre serían mayor debido a la agrupación de estos, por lo que si se requiere esfuerzos admisibles mayores se puede proceder de esta forma.



Figura 4. Ejemplo de agrupación de 4 Piloedre

Fuente: DAU Piloedre



Figura 5. Disposición de estribos y tuerca

Fuente: DAU Piloedre

Como se puede apreciar en la figura 5 el sistema de Piloedre se conforma además de los tubos de anclaje al terreno y el bloque, por una armadura perimetral de dos estribos de acero corrugado.

El Piloedre ofrece tres tipos de modelos, PM1, PM5 y PP4, estos como se menciona en la Tabla 10, se diferencian por los tipos de meseta de apoyo y la manera de fijación a la estructura, por lo tanto, para el modelado de la estructura se utilizará el modelo PM1, ya que este aporta resistencia a esfuerzos de compresión y tracción, asimismo puede adaptarse a estructuras que no demanden nivelaciones tan exactas porque este modelo brinda su propio sistema de nivelación. Además, viene con una rosca hembra en el centro de la meseta, que esta se puede configurar en altura según se necesite.



Figura 6. Modelo PM1

Fuente: DAU Piloedre



Figura 7. Modelo PM5

Fuente: DAU Piloedre



Figura 8. Modelo PP4

Fuente: DAU Piloedre

Tabla 10. Modelos de Piloedre

Modelo	Modo de fijación de la estructura	Dimensiones (mm)	
		En planta	Altura
PM1	Rosca hembra en centro de cara superior	260 x 260	280 a 320
PM5	Rosca hembra en centro de cara superior y 4 roscas hembra perimetrales	260 x 260	280 a 320
PP4 (*)	Conexión a través del agujero central pasante	260 x 260	280 a 320

Fuente: DAU Piloedre

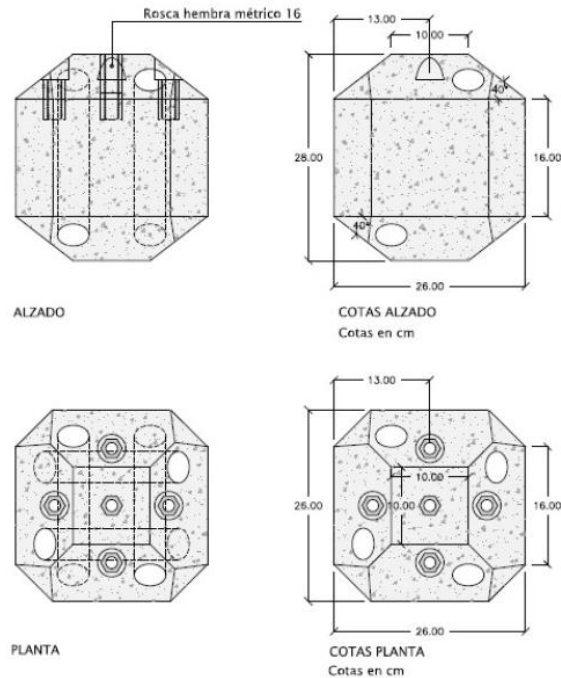


Figura 9. Alzado del Piloedre

Fuente: Ficha técnica Piloedre

Como se puede evidenciar la geometría del bloque es parecida para todos sus modelos logrando variar según se requiera, en altura de la meseta y el bloque, por consiguiente, una vez instalado en el terreno se puede visualizar de la siguiente manera.

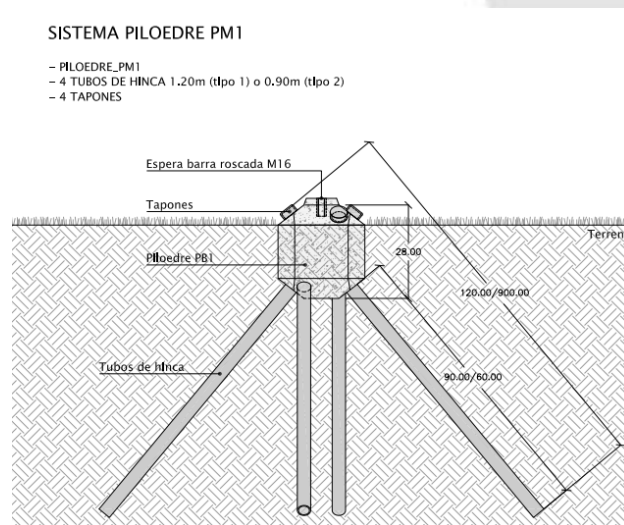


Figura 10. Piloedre PM1

Fuente: Ficha técnica Piloedre

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

A. Descripción de proyecto

Ubicación: Medellín, Antioquia, Colombia

Niveles: 1

Finalidad: Bodega de almacenamiento

Tipo de sistema estructural: Pórtico de acero resistente a momentos

Metodología de diseño: Fuerza horizontal equivalente

- Parámetros sísmicos

Ciudad: Medellín

Amenaza Sísmica: Intermedia

Aa: 0.15

Av: 0.20

- Parámetros del suelo

Perfil del suelo: B

Fa: 1

Fv: 1

- Características de la estructura

Grupo de uso: I

Coefficiente de importancia: 1

Sistema estructural: Pórticos resistentes a momentos

Disipación de energía: DES

Para caracterizar el proyecto nos basamos del software Espectro NSR-10 (Mendoza, 2022).

Una vez introducidos los datos de entrada como, localización, grupo de uso y perfil del suelo nos arroja los siguientes resultados.

Proyecto Evaluación sistema estructural

Localización
 Departamento: Antioquia Municipio: Medellín Zona sísmica: []
 Dirección: []

Grupo de uso y coeficiente de importancia
 Grupo de uso: I Coeficiente de importancia [I]: 1
 Estructuras de ocupación normal

Zona de amenaza sísmica
 Intermedia Es el conjunto de lugares en donde Aa o Av, o ambos, son mayores de 0.10 y ninguno de los dos excede 0.20

Coefficientes
 Aa 0,15 Ad 0,07 Fa 1
 Av 0,2 Ae 0,13 Fv 1
 A0 0,15 Redefinir Ver Tabla

Períodos característicos del espectro elástico (NSR 10 - A.2.6.1)
 $T_0 = (0.1 \cdot Av \cdot Fv) / (Aa \cdot Fa) = 0.133$ (Véase A.2.6)
 $T_c = (0.48 \cdot Av \cdot Fv) / (Aa \cdot Fa) = 0.64$ (Véase A.2.6)
 $T_L = (2.40 \cdot Fv) = 2.4$ (Véase A.2.6)

Perfil del suelo: B
 Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante Ver Tabla A.2.4-1

Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Curva - Diseño Curva - Seguridad Limitada Curva - Umbral

Figura 11. Guía para caracterizar el proyecto

Fuente: (Mendoza, 2022)

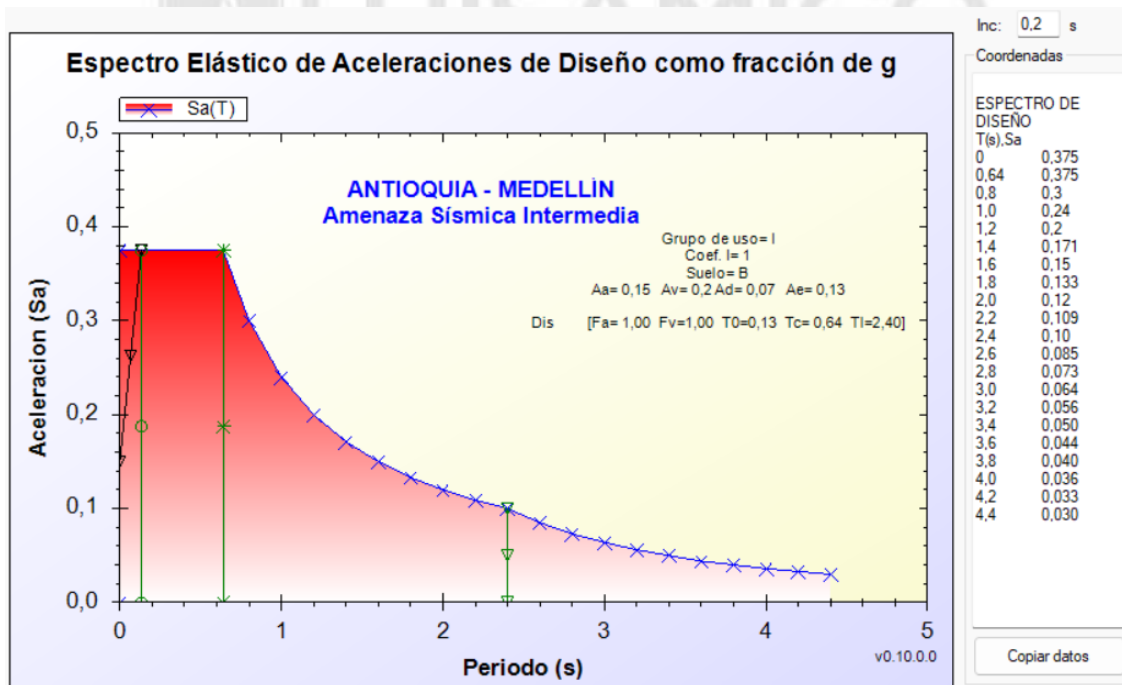


Figura 12. Espectro elástico de aceleraciones de Diseño

Fuente: (Mendoza, 2022)

CAPÍTULO 1. DIMENSIONAMIENTO MODELO ESTRUCTURAL MEDIANTE SOFTWARE

Se procede a dimensionar la estructura con ayuda del software de diseño AutoCAD, (ver figuras 13 y 14), que nos permite la creación y edición profesional de geometría 2D y modelos 3D con sólidos, superficies y objetos (Marchante, 2022).

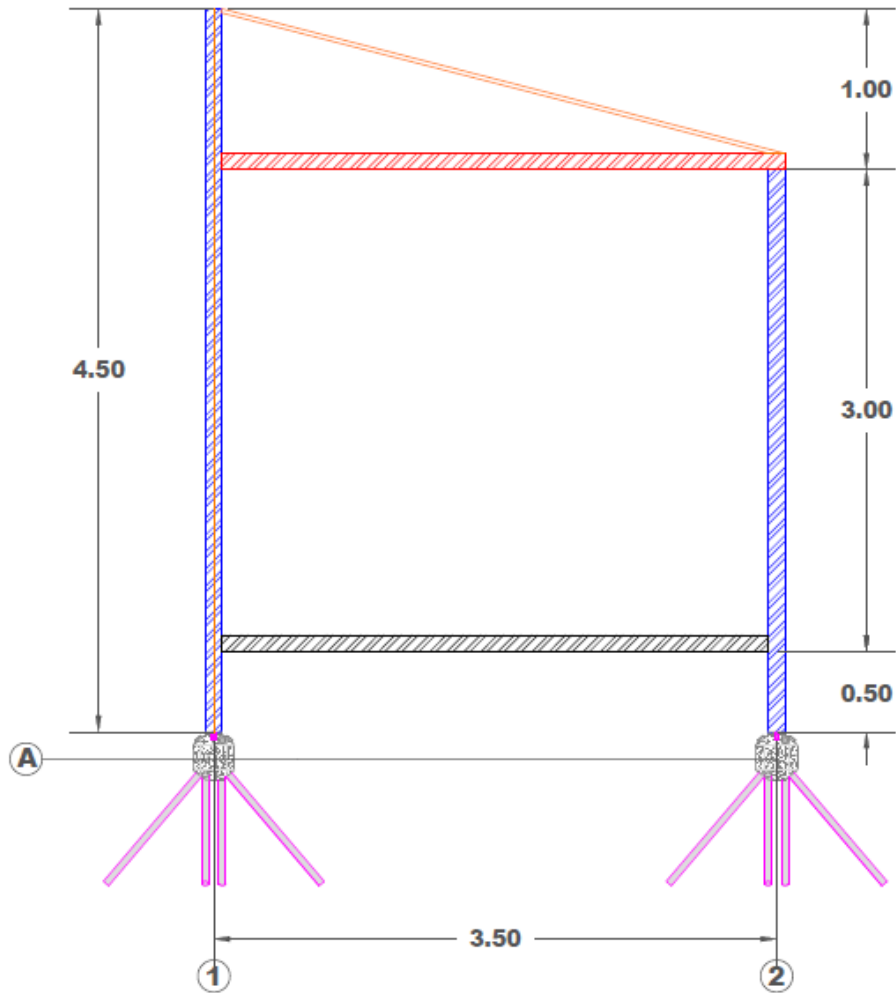


Figura 13. Corte transversal de la estructura (unidades en m)

Fuente: Propia

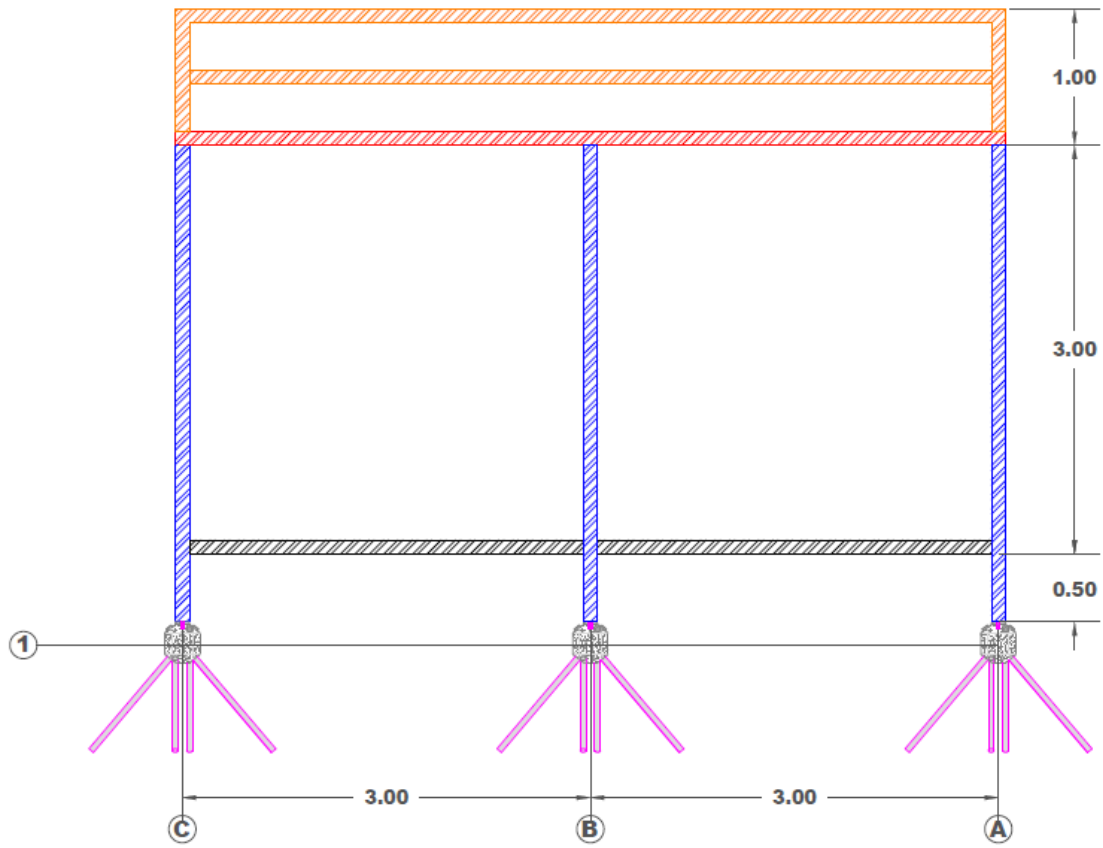


Figura 14. Corte longitudinal de la estructura (unidades en m)

Fuente: Propia

La edificación es una estructura de tipo bodega para almacenamiento, con un sistema estructural de pórticos en acero resistentes a momentos. Para las columnas y vigas principales se optó por utilizar un perfil W4X13, el cual se muestran sus propiedades de material y sección en las figuras 15 y 16, respectivamente, Para los nervios de la losa y correa de la cubierta se utilizó el mismo perfil, los cuales están ubicados cada 1.16 m, y 1.82 m respectivamente, dicho perfil cuenta con una resistencia a la fluencia de 320 Mpa. La cubierta es inclinada a una sola agua, modelada sobre el perfil mencionado, estos perfiles de acero cumplen con la norma ASTM A500 y NTC 4526.

Luego desde el programa Midas Gen, que es un software para análisis y diseño de edificaciones y estructuras generales (Midasoft, 2022), se define el material y secciones de los elementos (ver Figura 15 y Figura 16). Posteriormente, se importa el archivo tipo dxf de AutoCAD a Midas Gen (ver Figura 17).

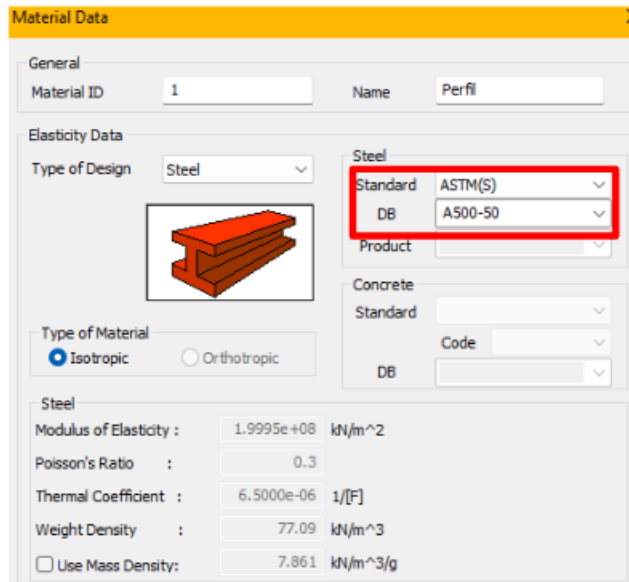


Figura 15. Material para acero de la estructura

Fuente: Propia

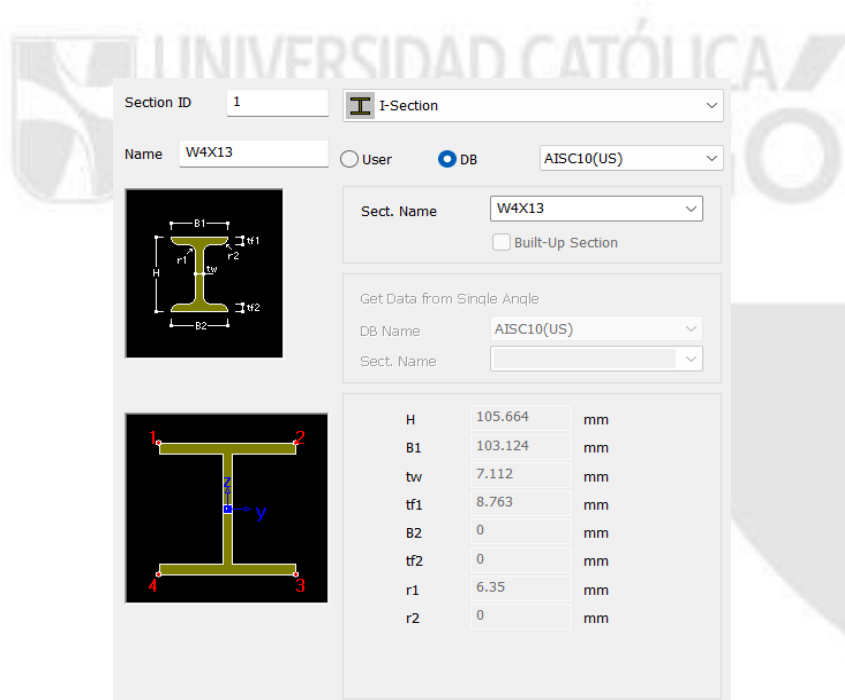


Figura 16. Propiedades sección elemento

Fuente: Catálogo software Midas Gen

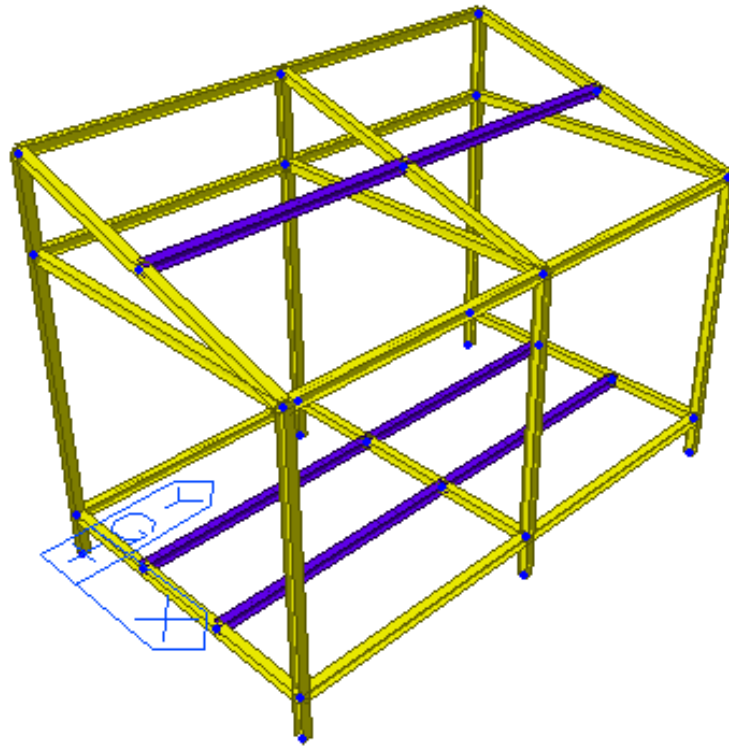


Figura 17. Modelo estructural (Midas Gen)

Fuente: Propia

La cimentación consta de seis Piloedre de tipo PM1 (ver Figura 10), ubicados respectivamente en las seis columnas de acero.

CAPÍTULO 2. MODELACIÓN, ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Se debe indicar en el programa que asigne una nomenclatura para la estructura, la cual debe ser perpendiculares al plano XY del software y para aplicar las fuerzas laterales calculadas automáticamente como fuerzas de piso.

Esto se hace a través de la herramienta de “control data” en la sección de “Story” el software los puede generar automáticamente dando así la siguiente información.

Tabla 11. Distribución por piso

Module Name	Story Name	Level [m]	Height [m]	Floor Diaphragm
Base	Roof	4.5	0.0	Do not consider
Base	4F	4	0.5	Do not consider
Base	3F	3.5	0.5	Do not consider
Base	2F	0.5	3	Consider
Base	1F	0.0	0.5	Do not consider

Fuente: Propia

Al no considerar diafragmas rígidos en la sección de la tabla “Floor diaphragm” indica que MIDAS GEN para sus cálculos no está restringiendo los desplazamientos en las direcciones X, Y y Z. Mientras que si se le considera diafragma nos indica lo contrario, es decir que restringe los desplazamientos en las direcciones mencionadas.

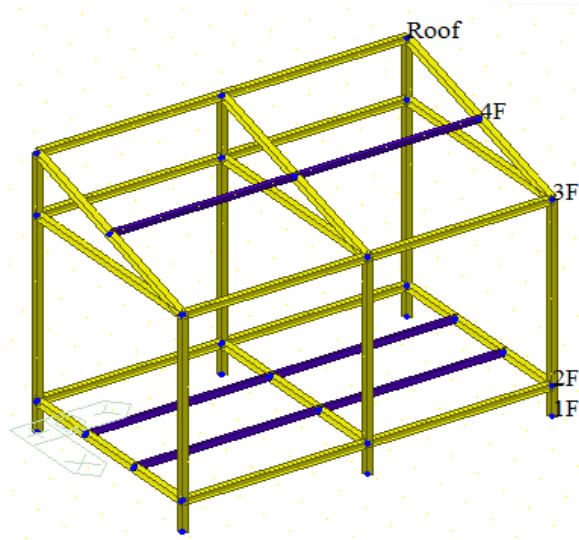


Figura 18. Story o distribución por piso (Midas Gen)

Fuente: Propia

- Condiciones de apoyo

Para las vigas secundarias se debe liberar los momentos en sus extremos, para que así, el programa las considere articuladas en ambos extremos.

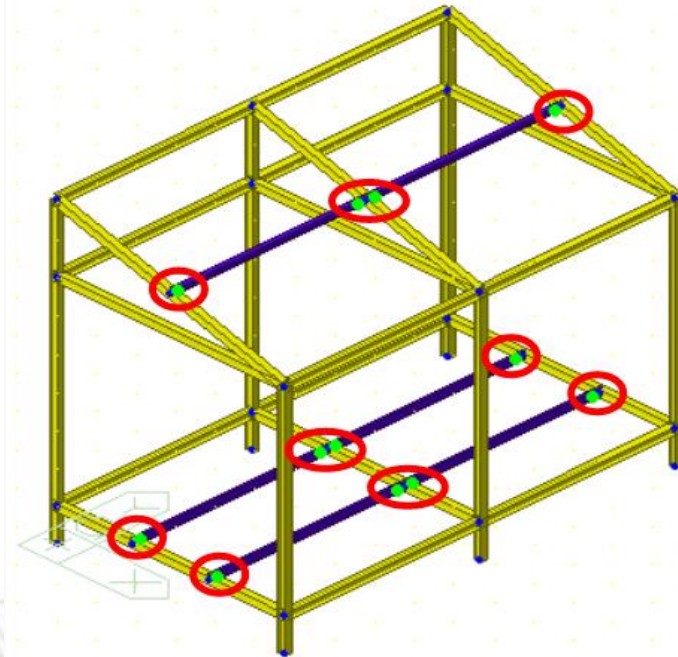


Figura 19. Vigas articuladas en ambos extremos

Fuente: Propia

- Asignación de cargas y combinaciones.

Se crean los casos de carga. Que para el cálculo de este modelo se consideraron carga viva (L), carga muerta (D), carga de sismo (E) y carga de viento (W).

Static Load Cases

Name :

Type :

Description :

No	Name	Type	Description
1	Carga muerta	Dead Load (D)	
2	Carga viva	Live Load (L)	
3	Peso propio	Dead Load (D)	
4	Sismo en Sx	Earthquake (E)	
5	Sismo en Sy	Earthquake (E)	
6	Viento en x	Wind Load on Structure (W)	
7	Viento en y	Wind Load on Structure (W)	
*			

Figura 20. Casos de cargas

Fuente: Propia

Las combinaciones de cargas, son aquellas que se tienen en cuenta para el modelo final del diseño.

Estas se generan a partir de la herramienta de “Load Combinations” bajo el reglamento de la NSR 10 del título B de cargas, el programa las genera automáticamente tomando en cuenta las escalas de factor para cada caso de carga asignado y considera cargas de esfuerzos actuantes y resistentes.

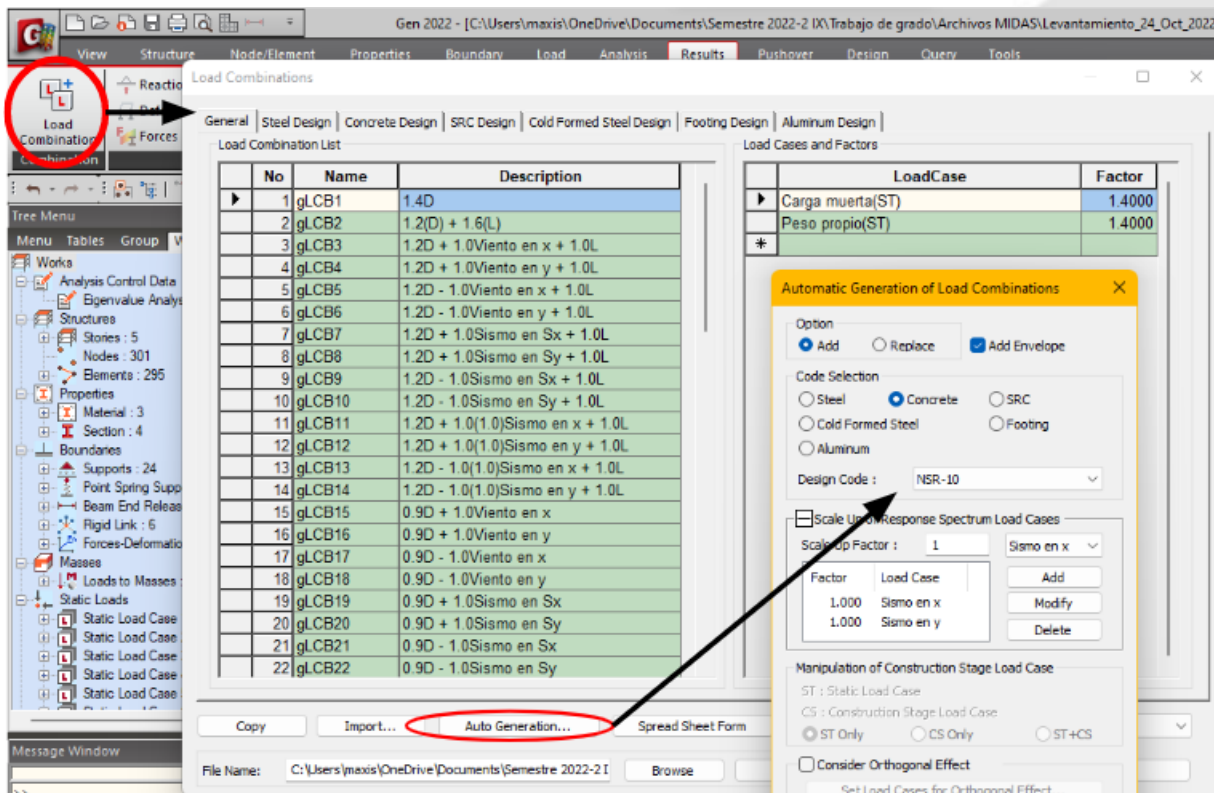


Figura 21. Combinaciones de carga

Fuente: Propia

- Asignación de peso propio y tipos de cargas de piso

Para peso propio se debe asignar un factor de escala igual a -1 en la dirección global Z, para que así el software tenga en cuenta el peso de la estructura y lo considere en los cálculos.

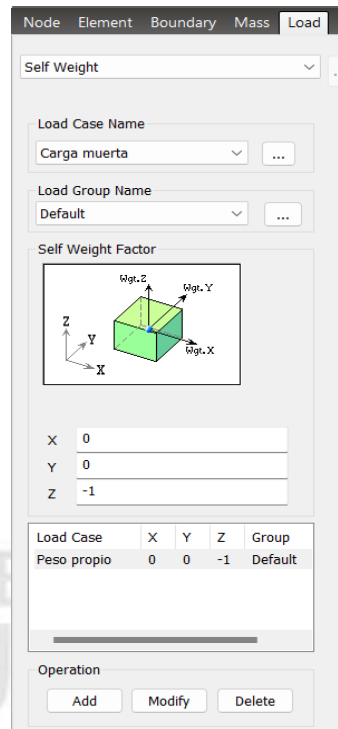


Figura 22. Asignación peso propio

Fuente: Propia

Para los tipos de carga de piso se tomó valores de carga viva y muerta de la NSR-10 (ver Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14)

Floor Load Type [X]

Floor Load Type Name & Description

Name :

Description :

Floor Load & Load Case

Load Case	Floor Load	Unit	Sub Beam Weight
1. Carga viva	-12	kN/m ²	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Carga muerta	-1.5	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
3. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
4. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
5. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
6. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
7. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
8. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>

Define Load Case...

Name	Description
▶ cargas losa	
carga cubierta	
*	

Add
Modify
Delete

Figura 23. Tipo de carga de piso para losa

Fuente: Propia

Floor Load Type [X]

Floor Load Type Name & Description

Name :

Description :

Floor Load & Load Case

Load Case	Floor Load	Unit	Sub Beam Weight
1. Carga viva	-0.35	kN/m ²	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Carga muerta	-1.5	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
3. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
4. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
5. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
6. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
7. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>
8. NONE	0	kN/m ²	<input type="checkbox"/>

Define Load Case...

Name	Description
cargas losa	
▶ carga cubierta	
*	

Add
Modify
Delete

Figura 24. Tipo de carga de piso para cubierta

Fuente: Propia

Las tablas 12, 13 y 14 hacen parte del título B de la NSR-10, que se utilizaron para la asignación de tipos de carga de piso.

Tabla 12. Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m ²) m ² de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
Oficinas	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
Educativos	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
Fábricas	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
Institucional	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
Comercio	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
Residencial	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
Almacenamiento	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
Garajes	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Fuente: NSR-10, Título B

Tabla 13. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestíbulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
Oficinas	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
Educativos	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
Fábricas	Estanterías	7.0	700
	Industrias livianas	5.0	500
Institucional	Industrias pesadas	10.0	1000
	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
Comercio	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Minorista	5.0	500
Residencial	Mayorista	6.0	600
	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
Almacenamiento	Escaleras	3.0	300
	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
Garajes	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
Coliseos y Estadios	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Fuente: NSR-10, Título B

Tabla 14. Cargas vivas mínimas en cubiertas

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

Fuente: NSR-10, Título B

Para asignar las cargas de la NSR 10 del título B que anteriormente se seleccionaron, se debe crear en el software MIDAS GEN los casos de carga piso, esto se logra a través de la herramienta de “Define floor load type” allí se asigna un caso de carga de cubierta y un caso de carga de losa donde se depositan las cargas vivas y muertas con su valor numérico y con el signo menos, ya que las cargas están actuando en el eje Z hacia abajo.

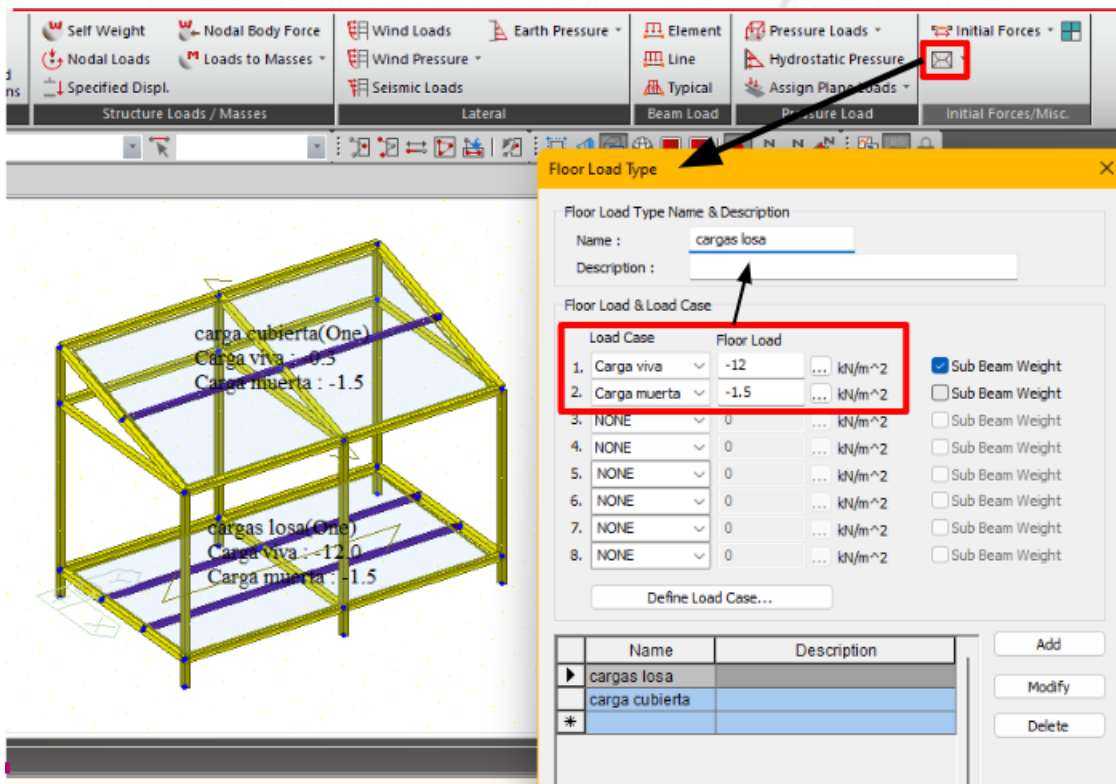


Figura 25. Herramienta para crear los casos de carga

Fuente: Propia

También para colocarlas al modelo se cogen los 4 nodos que componen la cubierta y los otros 4 de la losa y se asignan en una sola dirección, porque son elementos que serán desmontables y los elementos prefabricados solo se trabajan en una dirección. Se hace con este objetivo para que prime la finalidad de que se pueda desmontar para un nuevo reuso.

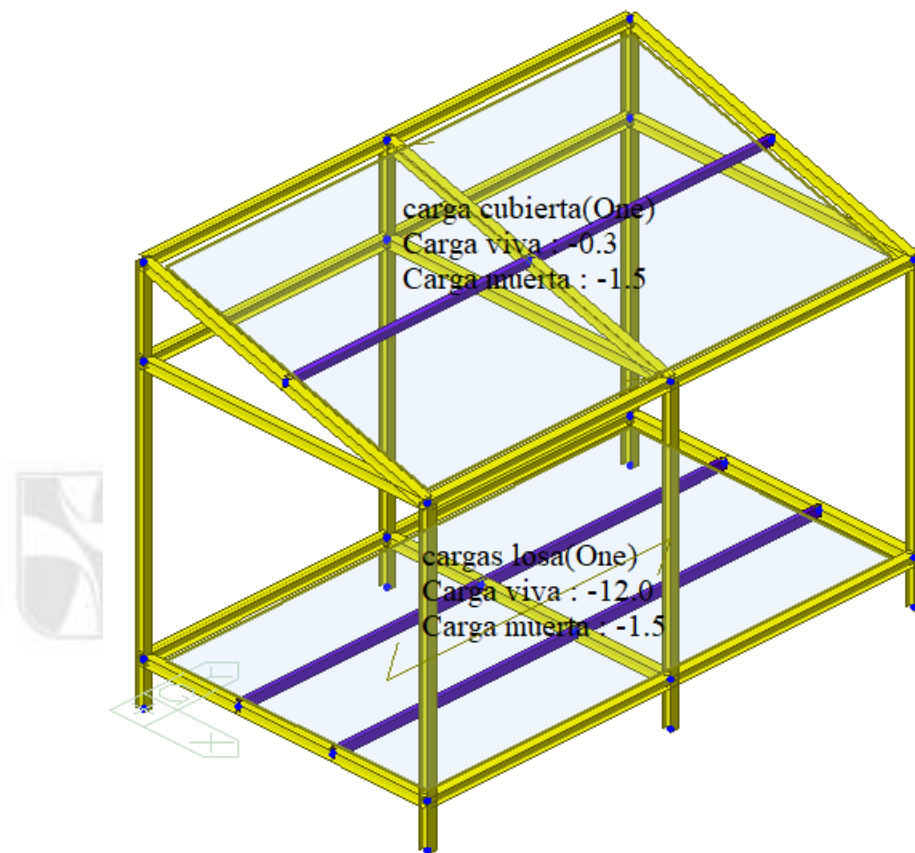


Figura 26. Asignación de cargas vivas y muertas al modelo (unidades en KN)

Fuente: Propia

- Definición función del espectro

Se inicia generando la función del espectro, con ayuda de las bases de datos del programa para lo cual debemos seleccionar la norma correspondiente, en este caso la NSR-10, luego indicamos los parámetros de los movimientos sísmicos para obtener la respuesta del espectro de aceleraciones.

Figura 27. Espectro de diseño

Fuente: Propia

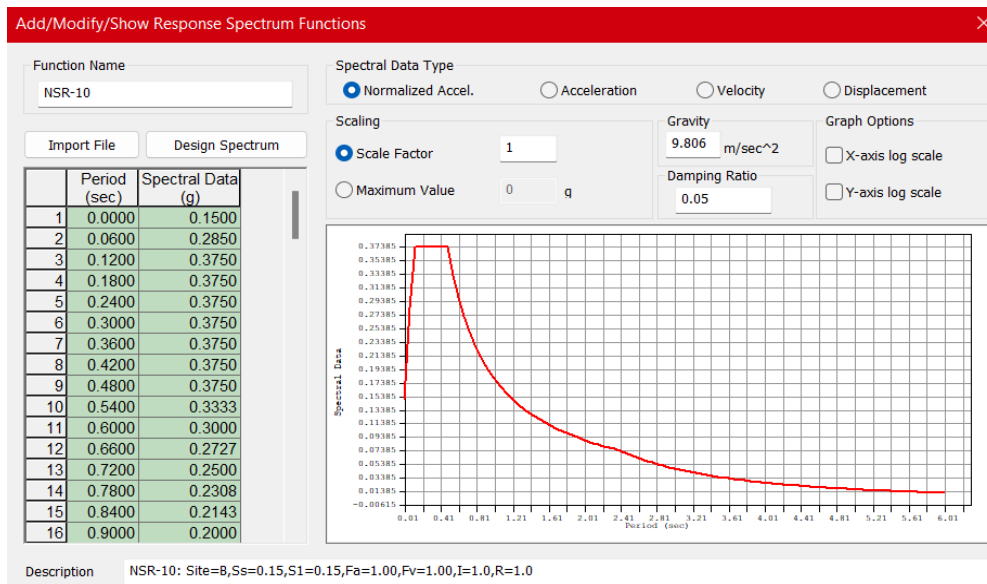


Figura 28. Funciones del espectro de respuesta

Fuente: Propia

- Casos de carga dinámicos

Luego se procede a agregar los casos de carga espectrales que van en función al espectro de aceleraciones anteriormente creado, para la dirección en Y se debe definir un ángulo de excitación igual a 90° para que el programa Midas Gen contemple dicha dirección.

The image displays two side-by-side screenshots of the 'Spectrum Load Case' dialog box in Midas Gen. The left dialog is for a load case named 'Sx' with a direction of 'X-Y' and an excitation angle of 0 degrees. The right dialog is for a load case named 'Sy' with a direction of 'X-Y' and an excitation angle of 90 degrees. Both dialogs have 'Major' selected for the search angle and 'NSR-10 (0.05)' selected in the 'Spectrum Functions' list. The 'Scale Factor' and 'Period Modification Factor' are both set to 1. The 'Modal Combination Control' button is visible in both dialogs.

Figura 29. Casos de carga dinámicos

Fuente: Propia

- Conversión de cargas a masas.

Se empieza convirtiendo las cargas asignadas en masas, esto con el objetivo de tener en cuenta el peso de los elementos en los cálculos para su posterior análisis de resultados.

En la siguiente figura, se le indica al software que debe tener en cuenta el peso propio de los elementos para la masa de la estructura. Luego también se aplican parte de las cargas aplicadas como peso de la estructura.

Structure Type

3-D X-Z Plane Y-Z Plane X-Y Plane Constraint RZ

Mass Control Parameter

Lumped Mass

Consider Off-diagonal Masses

Considering Rotational Rigid Body Mode for Modal Participation Factor

Consistent Mass

Convert Self-weight into Masses

Convert to X, Y, Z Convert to X, Y Convert to Z

Gravity Acceleration : m/sec²

Initial Temperature : [F]

Align Top of Beam Section with Floor (X-Y Plane) for Panel Zone Effect / Display

Align Top of Slab(Plate) Section with Floor (X-Y Plane) for Display

Figura 30. Ventana de Structure Type

Fuente: Propia

Mass Direction

X Y Z
 X, Y Y, Z X, Z
 X, Y, Z

Load Type for Converting

Nodal Load
 Beam Load
 Floor Load
 Pressure (Hydrostatic)

Gravity : m/sec^2

Load Case / Factor

Load Case : ...

Scale Factor :

LoadCase	Scale
Carga m...	1
Carga viva	0.25

Figura 31. Ventana Mass Direction

Fuente: Propia

A continuación, se observa la asignación de la masa al modelo.

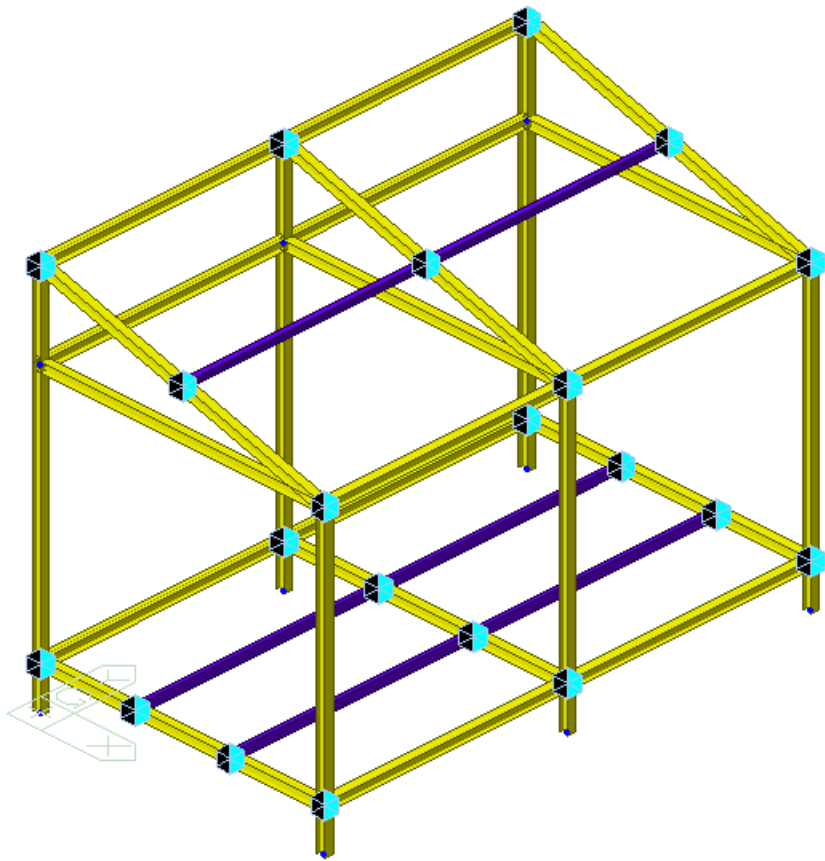


Figura 32. Conversión de cargas a masas

Fuente: Propia

- Asignación sismo estático

Inicialmente, agregamos los casos de carga, S_x y S_y , es decir sismo en x & y , luego indicamos las especificaciones de las cargas de sismo para cada caso, como se puede apreciar en la figura 33.

Además, en la Figura 34, se especificó el periodo aproximado de la estructura conforme a lo establecido en el Título A del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (ver Tabla 2).

Load Case Name : Sismo en Sx

Seismic Load Code : NSR-10

Description :

Seismic Load Parameters

Design Spectral Response Acceleration

Site Class : B

Aa : 0.15 g Fa : 1.00000

Av : 0.2 g Fv : 1.00000

Period Coef. (Cu) : 1.51000

Importance Factor (I) : 1

Structural Parameters

	X-Dir.	Y-Dir.
Analytical Period :	0	0
Approximate Period :	0.2398	0.2398
Fundamental Period :	0.2398	0.2398
Basic Ductility Factor (R0)	4	4
Phi :	1	1

Seismic Load Direction Factor (Scale Factor)

X-Direction : 1 Y-Direction : 0

Accidental Eccentricity

X-Direction (Ex) : Positive Negative None

Y-Direction (Ey) : Positive Negative None

Torsional Amplification

Accidental Eccentricity Inherent Eccentricity

Additional Seismic Loads (Unit:kN,m)

Story	Add.-X	Add.-Y	Add.-R

Load Case Name : Sismo en Sy

Seismic Load Code : NSR-10

Description :

Seismic Load Parameters

Design Spectral Response Acceleration

Site Class : B

Aa : 0.15 g Fa : 1.00000

Av : 0.2 g Fv : 1.00000

Period Coef. (Cu) : 1.51000

Importance Factor (I) : 1

Structural Parameters

	X-Dir.	Y-Dir.
Analytical Period :	0	0
Approximate Period :	0.2398	0.2398
Fundamental Period :	0.2398	0.2398
Basic Ductility Factor (R0)	4	4
Phi :	1	1

Seismic Load Direction Factor (Scale Factor)

X-Direction : 0 Y-Direction : 1

Accidental Eccentricity

X-Direction (Ex) : Positive Negative None

Y-Direction (Ey) : Positive Negative None

Torsional Amplification

Accidental Eccentricity Inherent Eccentricity

Additional Seismic Loads (Unit:kN,m)

Story	Add.-X	Add.-Y	Add.-R

Figura 33. Especificación carga de sismo sx y sy

Fuente: Propia

X- Direction Period		Y- Direction Period	
<input type="radio"/>	1. $T = 0.047hn^{(0.9)}$	<input type="radio"/>	1. $T = 0.047hn^{(0.9)}$
<input checked="" type="radio"/>	2. $T = 0.072hn^{(0.8)}$	<input checked="" type="radio"/>	2. $T = 0.072hn^{(0.8)}$
<input type="radio"/>	3. $T = 0.073hn^{(0.75)}$	<input type="radio"/>	3. $T = 0.073hn^{(0.75)}$
<input type="radio"/>	4. $T = 0.049hn^{(0.75)}$	<input type="radio"/>	4. $T = 0.049hn^{(0.75)}$
<input type="radio"/>	5. $T = 0.1N$	<input type="radio"/>	5. $T = 0.1N$
<input type="radio"/>	6. $T = 0.0062hn/\text{sqrt}(C_w)$	<input type="radio"/>	6. $T = 0.0062hn/\text{sqrt}(C_w)$
hn :	<input type="text" value="4.5"/> (m)	hn :	<input type="text" value="4.5"/> (m)
N :	<input type="text" value="4"/>	N :	<input type="text" value="4"/>
Cw :	<input type="text" value="0"/>	Cw :	<input type="text" value="0"/>

Figura 34. Periodo aproximado de la estructura

Fuente: Propia

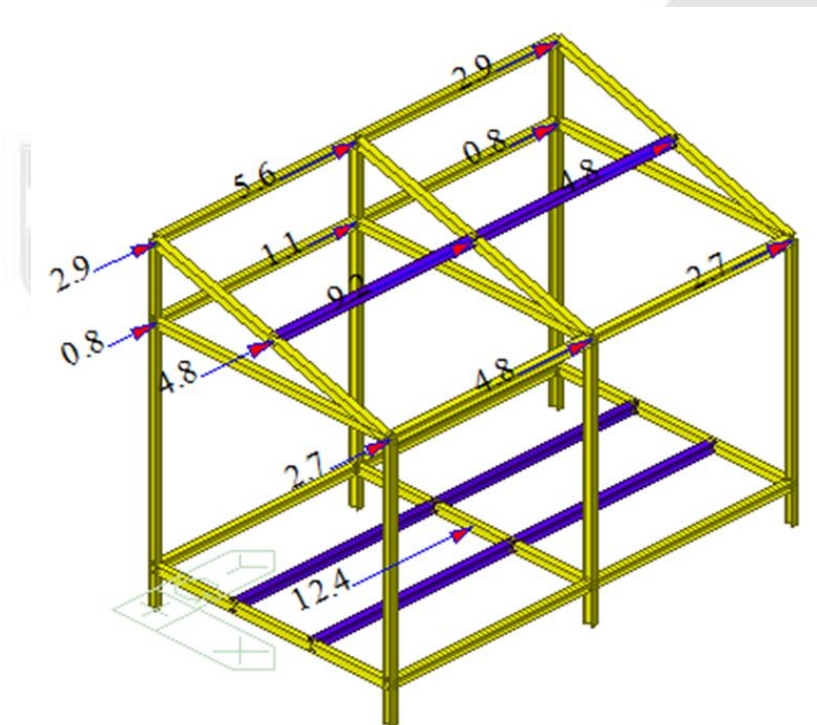


Figura 35. Dirección sismo en Y (unidades en KN)

Fuente: Propia

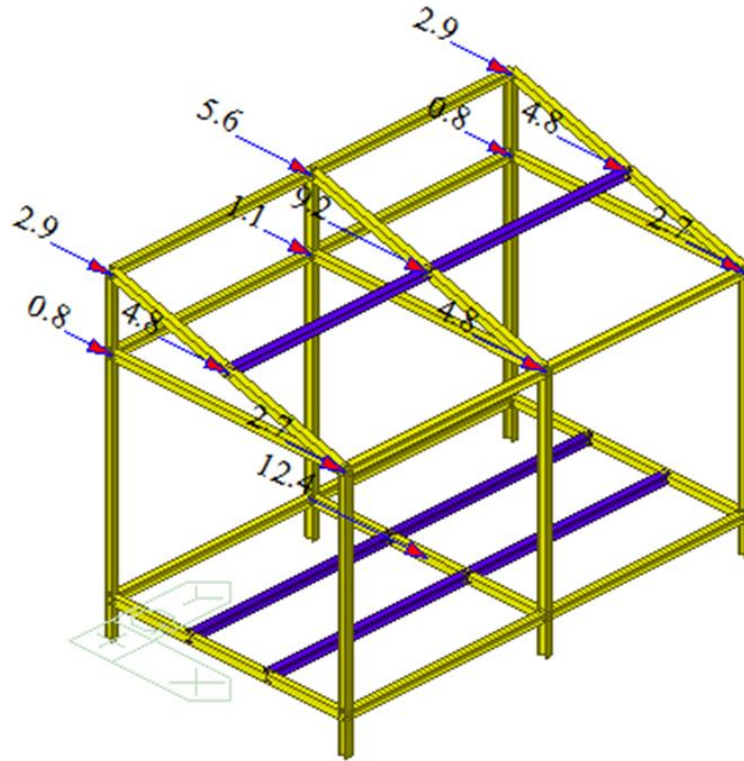


Figura 36. Dirección sismo en X (unidades en KN)

Fuente: Propia

- Asignación cargas de viento

Cargas de viento según los parámetros de la NSR-10 del capítulo B.6, se establece lo siguiente, la velocidad promedio de viento en Medellín es de 120 Km/h y la categoría de exposición es de tipo B que son áreas urbanas con numerosas obstrucciones en el terreno, es decir viviendas con pocas separaciones entre ellas mismas, la altura media es la distancia hasta el punto más alto. En el software se debe tener en cuenta las dos direcciones X y Y para el cálculo de estas cargas.

Add/Modify Wind Load Specification

Load Case Name : Viento en x

Wind Load Code : NSR-10

Description :

Wind Load Parameters

Basic Wind Speed : 120 km/h

Exposure Category : B

Mean Roof Height : 4.5 m

Importance Factor(I) : 0.87

Topographic Effects : ...

Directional Factor : Kdx 0.85 Kdy 0.85

Rigid Structure Flexible Structure

Gust Effect Factor : Gfx 0.85 Gfy 0.85

Load Evaluation Using Force Coefficient

Force Coefficient : 1

Wind Eccentricity

X-Dir. (Wx) : Positive Negative None

Y-Dir. (Wy) : Positive Negative None

Figura 37. Especificación cargas de viento

Fuente: Propia

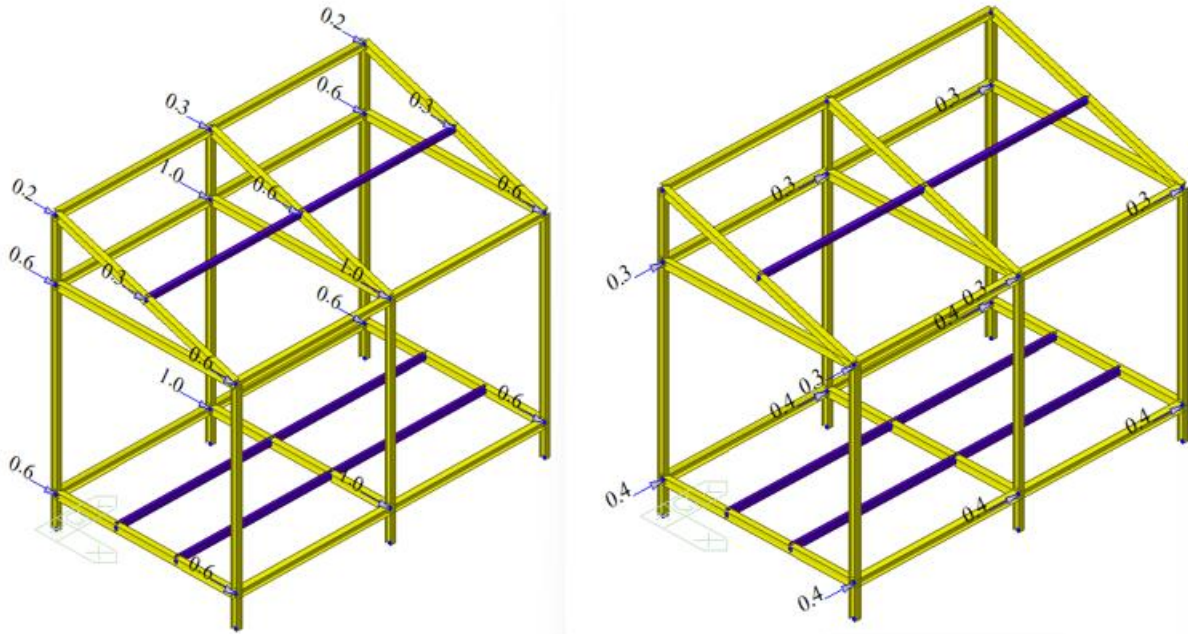


Figura 38. Cargas de viento en X y Y (unidades en KN)

Fuente: propia

- Diseño y conexión del Piloedre

Para modelado del Piloedre se modela de tal manera que el software de MIDAS GEN permitiera diseñar, así pues, se logra conservar algunas geometrías generales del producto y propiedades mecánicas.

En la sección para el material de los elementos en MIDAS GEN se ingresan las propiedades del producto, estas ya vienen predefinidas por los códigos de diseño en cuál se tomó de la norma ASTM (RC) una mezcla de 4500 psi (libra por pulgada cuadrada) el cual es equivalente a 31 MPa (Mega Pascales). Sin embargo, el fabricante del Piloedre propone que la resistencia mínima de concreto para el sólido de hormigón sea de 30 MPa, por lo tanto, para software se le indica el valor de la resistencia de 31 Mpa, ya que este está más cercano y apropiado a lo que dice el fabricante. Además, MIDAS GEN genera el material como concreto reforzado, lo cual es beneficioso para nuestro modelo, ya que la pieza de hormigón cuenta con un refuerzo interior de una barra de 8 mm.

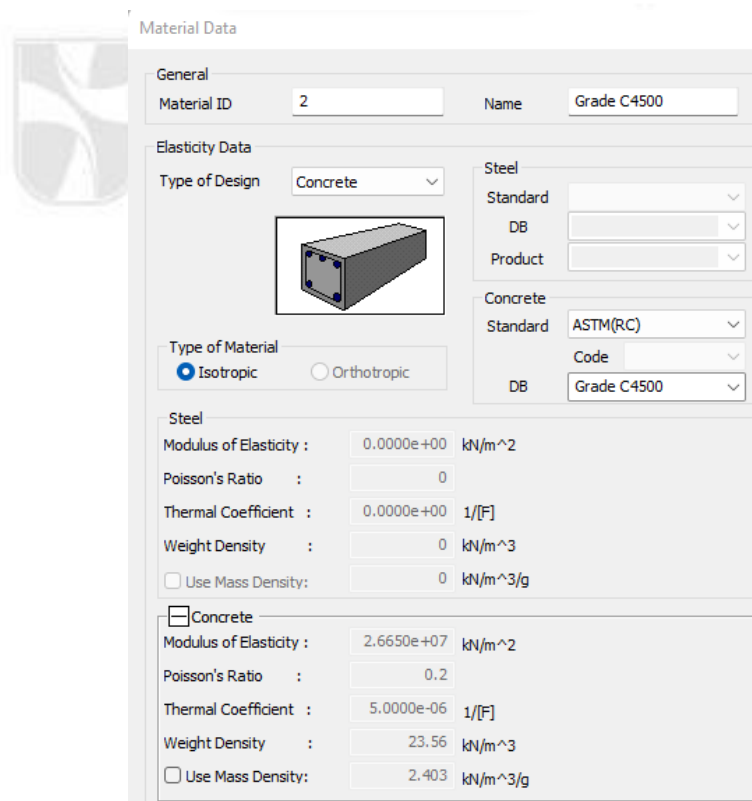


Figura 39. Propiedades mecánicas del bloque de hormigón.

Fuente: Propia.

Ahora para la sección geométrica del bloque hormigón se utilizó un cubo con las medidas externas del bloque que conforma el Piloedre, sin contar con cortes ni demás medidas, ya que en el software solo genera elementos de un nodo a otro. Por lo tanto, se tomaron medidas de 26 cm para cada lado y por 28 cm de altura.

Se genera a través de la herramienta de “Create elements” se origina la geometría como un elemento tipo Beam para que tenga en cuenta que es un elemento con armadura de concreto y que tiene en cuenta los efectos de rigidez, para compresión, deformación y cortantes. Los nodos iniciales para crear el elemento son los nodos finales de los elementos del perfil de acero W4X13 con medida de 0.5 m.

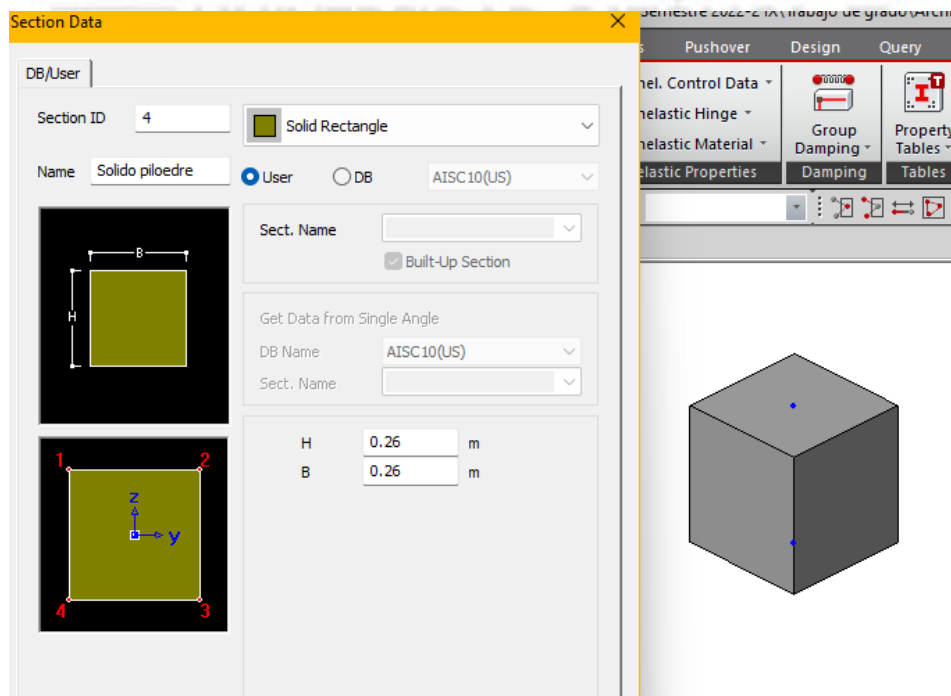


Figura 40. Medidas del bloque de hormigón

Fuente: Propia.

Para selección del material de las barras de acero que según el fabricante tiene una resistencia a la fluencia de 500 MPa de calidad N80 según la norma API 5CT, para moldearlo en el software se tomó un acero A913 de grado 70 de la norma ASTM el cual alcanza una resistencia a la fluencia de 480 Mpa. Estos perfiles de acero son de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural, son producidos por un proceso de tratamiento térmico especial (ASTM, 2022).

Tabla 15. Standard Specification ASTM

Grade	Yield Point, min.		Tensile Strength, min.		Elongation, min.		
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	8 in. [200 mm], %	2 in. [50 mm], %	
50	[345]	50	[345]	65	[450]	18	21
60	[415]	60	[415]	75	[520]	16	18
65	[450]	65	[450]	80	[550]	15	17
70	[485]	70	[485]	90	[620]	14	16

Fuente: ASTM A913/A913M-01

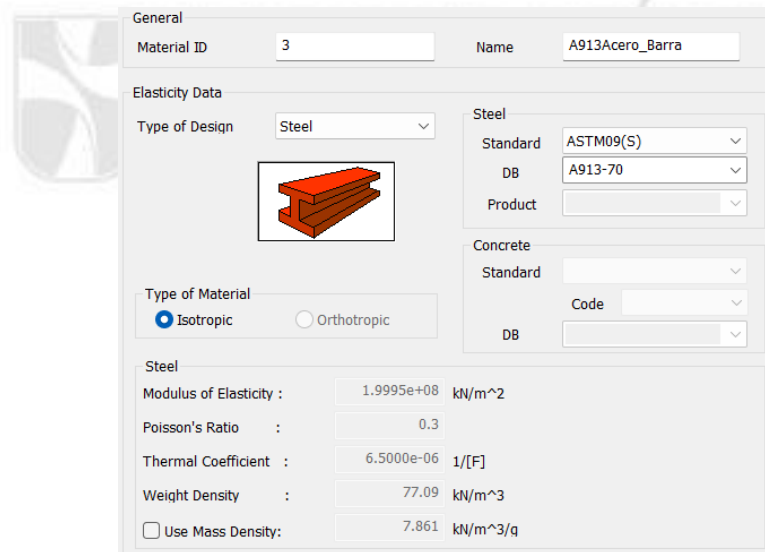


Figura 41. Propiedades mecánicas del acero de las barras

Fuente: Propia.

La sección geométrica de las barras, las cuales son parte del Piledre con medidas de 1.2 m de longitud, con un radio exterior de 42.9 mm y uno interno de 2.9 mm, estas atraviesan el bloque de hormigón y el terreno de forma inclinada con un ángulo de 40° con respecto a la vertical. Para el modelado en el software se toma como un elemento tipo Beam, es decir

como una viga, para que tenga en cuenta la dirección en diagonal indicada por el fabricante, esta herramienta se utiliza para vigas especiales o diagonales y técnicamente considera los momentos, cortantes y fuerzas que actúan en él.

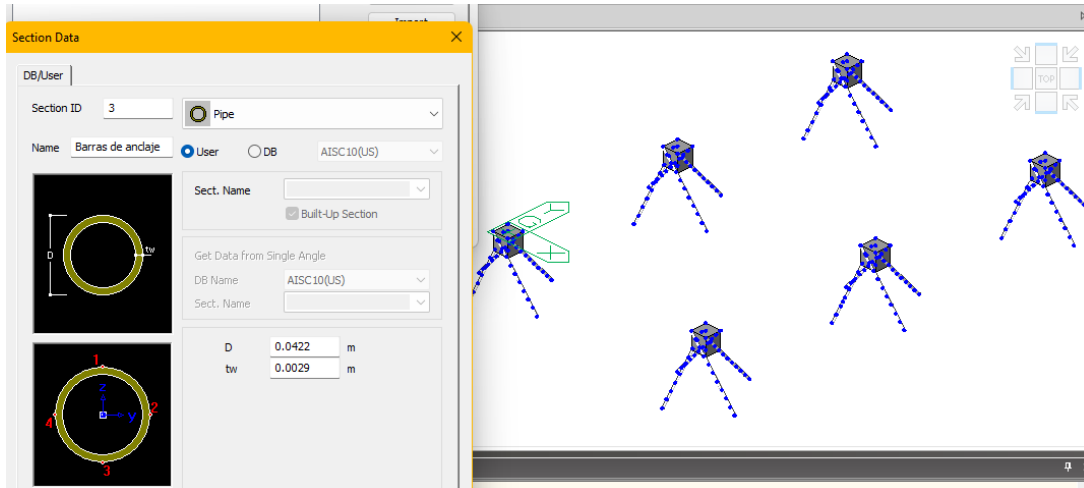


Figura 42. Sección de barras de acero

Fuente: Propia.

Luego los nodos iniciales se originan con la herramienta “Translate” que permite mover y copiar nodos y te indica dar el valor a tres direcciones para ubicar el nodo, entonces, para el eje Z siempre será la medida en la vertical y las medidas horizontales serán en el eje X y Y.

De esta manera, a partir del punto final de los elementos estructurales del perfil de medida 0.5 m, se copian 4 puntos que se van a mover, los cuales son de medida de 0.26 m que es el lado del sólido del Piloedre.

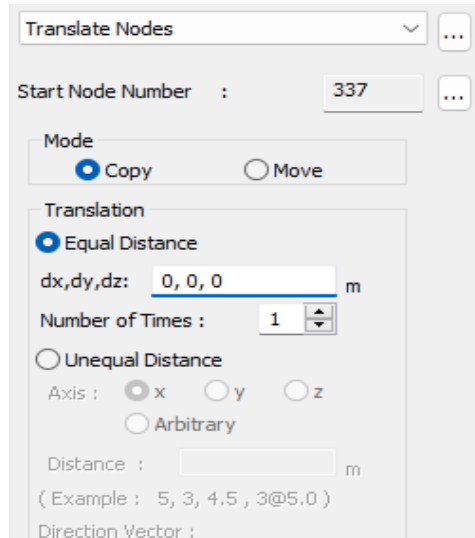


Figura 43. Herramienta de Translate

Fuente: Propia.

Para conocer la locación final de los puntos que harán parte de la barra de acero, se hace a través del cálculo con funciones trigonométricas, los datos que se conocen son, el ángulo de 40° y la longitud de la barra de acero de 1.20 m, como se puede apreciar en la figura 44.

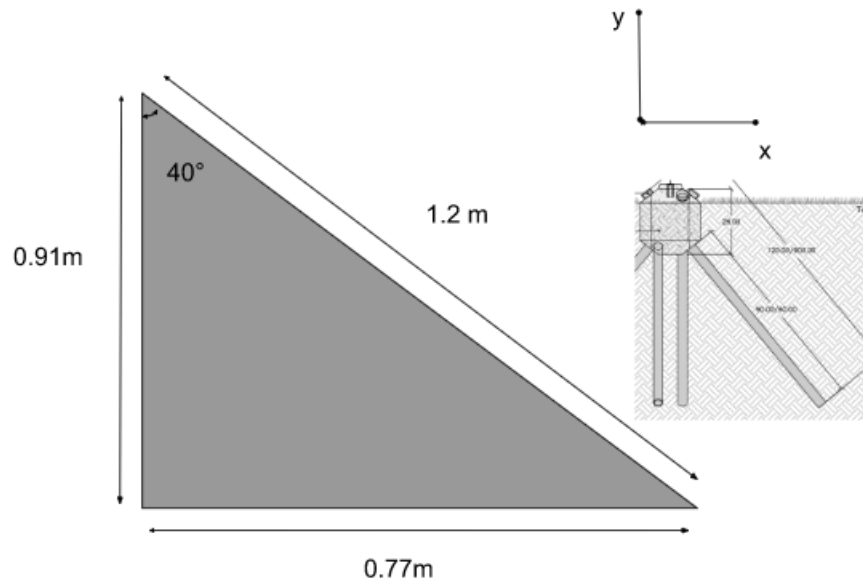


Figura 44. Interpretación visual de la profundidad de las barras

Fuente: Propia.

Como se ve en la figura anterior para obtener las medidas en el eje X y Y se realizó de la siguiente forma

- Para X:

$$\text{Sen } 40^\circ = \frac{x}{1.2}$$

$$x = 1.2 \cdot \text{sen } 40^\circ$$

$$x = 0.77 \text{ m}$$

- Para Y:

$$\text{cos } 40^\circ = \frac{y}{1.2}$$

$$y = 1.2 \cdot \text{cos } 40^\circ$$

$$y = 0.91 \text{ m}$$

Entonces, luego de obtener las medidas para pasarlas al software, se modela con la herramienta de “translate” en donde nuevamente indica dar el valor a tres direcciones para ubicar el nodo, entonces, para el eje Z siempre será la medida en la vertical de -0.91 m; es negativa, ya que el nivel de suelo está por encima de la barra. Para las medidas de X y Y del software compartirán la medida de 0.77 m. por ejemplo para crear el nodo final de la barra se toma que baje en la vertical -0.91 m y que esté a 0.77 m del eje X, por lo tanto, el proceso se repite para 4 nodos hasta obtenerlos variando la medida en los ejes horizontales y con sus respectivos signos.

Luego se crean las barras de acero para el modelo con la opción “Create element” que en total serán 24 barras de acero, en la siguiente figura 45 se ve el modelo del Piloedre con el sólido y con las barras de anclaje. Adicionalmente, se crean subdivisiones en el elemento a cada 0.12 cm, esto para tener en cuenta las deformaciones del suelo.

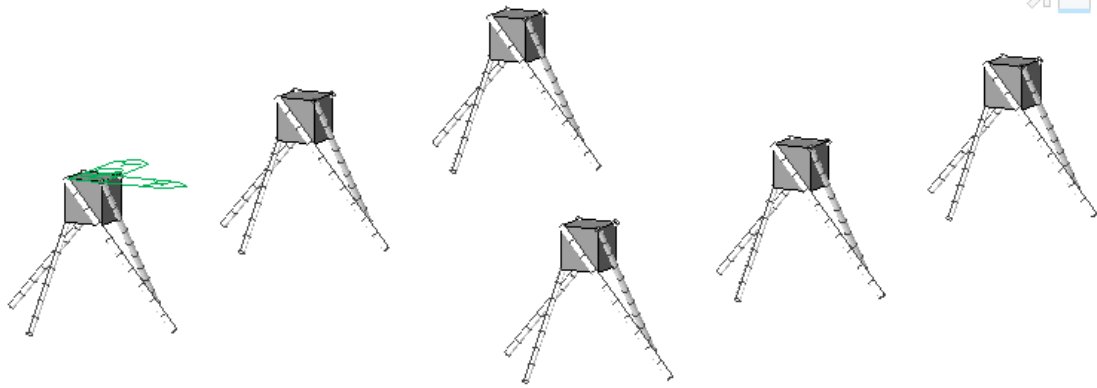


Figura 45. Piloedre modelados en el software

Fuente: Propia.

Luego de esto se inicia con las condiciones finitas de borde para el modelado de la cimentación. Primero es darle la propiedad para que las barras de acero se conecten a la pieza de hormigón entre sí, esto se hace mediante la herramienta Rigid Link, que también permite que el elemento de los nodos iniciales de las barras de acero restringe los desplazamientos en las tres direcciones e incluso para que transmita la carga de la estructura a la cimentación.

La herramienta indica asignar un nodo maestro al cual se conectarán los demás nodos, en este caso fueron todos los puntos finales del perfil de 0.5 m, ya que en este nodo se encuentra la conexión de la cimentación a la estructura.

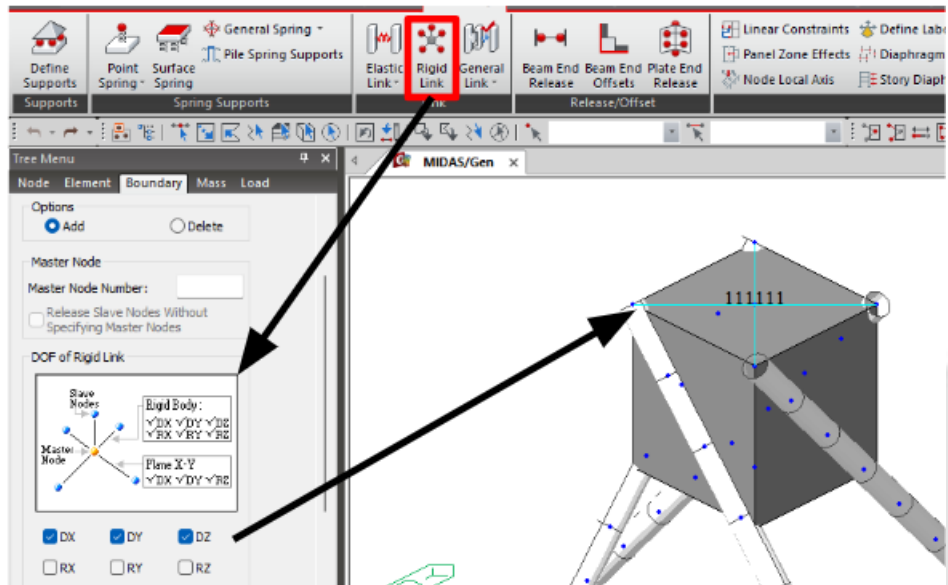


Figura 46. Herramienta Rigid link

Fuente: Propia

Según el fabricante, las barras de anclaje se asumen que están empotradas al sólido del Piloedre. Para hacer esto se logra por medio de la herramienta de "Define supports" donde restringimos los movimientos en todos los ejes.

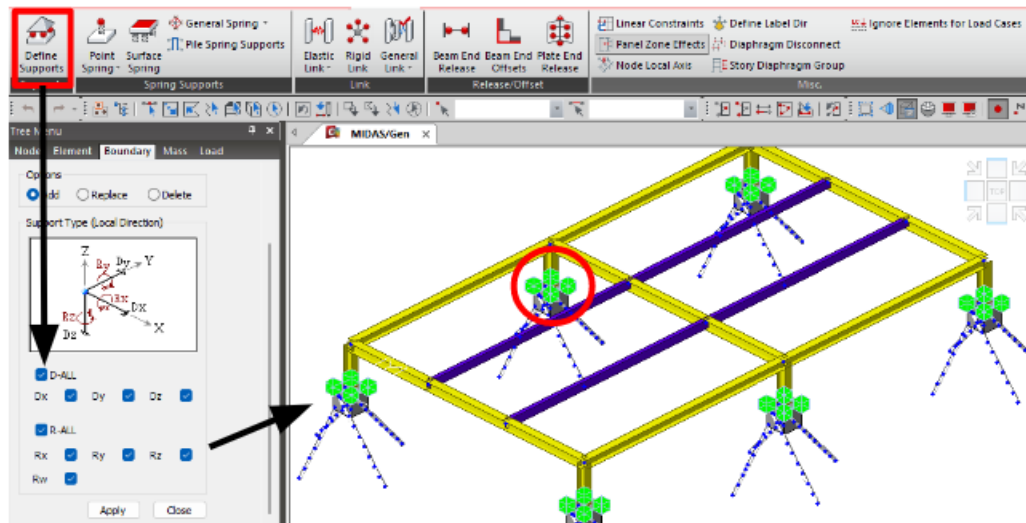


Figura 47. Barras empotradas al sólido del Piloedre

Fuente: Propia

Ahora, para darle unas condiciones de suelo real a la estructura, se interpreta que el terreno actúa como un resorte hacia la cimentación, el software modela con datos de rigidez del suelo, y para hacerlo se utiliza una herramienta multilínea.

Debido a que el programa de diseño considera que el suelo actúa como un resorte, es decir, que se tiene un comportamiento no lineal, por consecuencia para describir tal comportamiento se ingresan datos correspondientes de un estudio de suelos del sitio, es decir, del lugar donde se realiza el estudio de suelos, que generan una curva PY, la cual toma en cuenta las deflexiones con las reacciones y el efecto que tiene en la profundidad corresponde también a un incremento en la rigidez.

Las barras de acero del Piloedre actúa como micropilotes según el mismo fabricante, para la cual se asume que la barra se hincó al terreno en toda su longitud y no puntualmente, lo que permite considerar a la barra como un muro de pilotes dispuestos en vertical para efectos de cálculo. Cada tramo de barra se discretiza y se considera un pilote hincado.

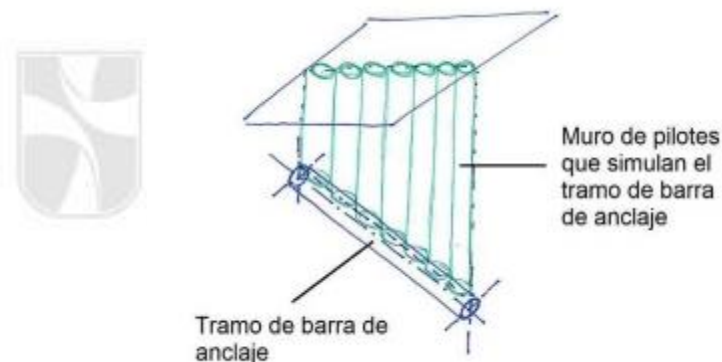


Figura 48. Micropilotes como barra de anclaje

Fuente: Ficha técnica Piloedre

Las curvas PY que se utilizaron fueron suministradas por la empresa consultora Inteinsa S.A. que, dada las condiciones de confidencialidad, solamente suministró la tabla y gráfica de resultados para un estudio de suelos en la ciudad de Medellín. La cual contiene la siguiente información.

Tabla 16. Resultados de estudio de suelos

0.95 m	
<i>y</i> [m]	<i>P</i> [kN/m]
-0.0955	-217.2988
-0.0478	-217.2988
0.0000	0.0000
0.0478	217.2988
0.0955	217.2988

Fuente: Inteinsa S.A.

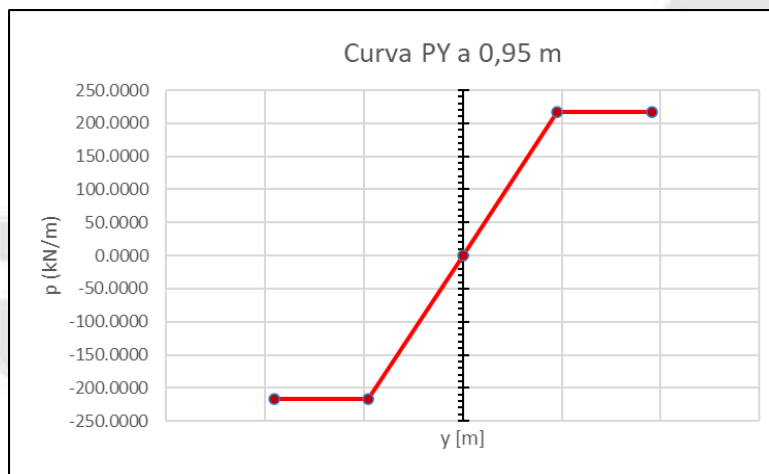


Figura 49. Gráfica curva PY

Fuente: Propia

Para el cálculo de la cimentación del Piloedre solo se toma hasta la profundidad de 0.95 m, puesto que las barras de acero bajan en profundidad hasta 0.91 m.

Entonces, para modelar las condiciones de este estudio de suelos, nos dirigimos a la herramienta de "Boundary" luego en "point springs" (herramienta de resortes del suelo), y allí se despliega una opción de "forces deformation funtions" en donde se añade los datos de la Tabla 16 con los resultados del estudio de suelo.

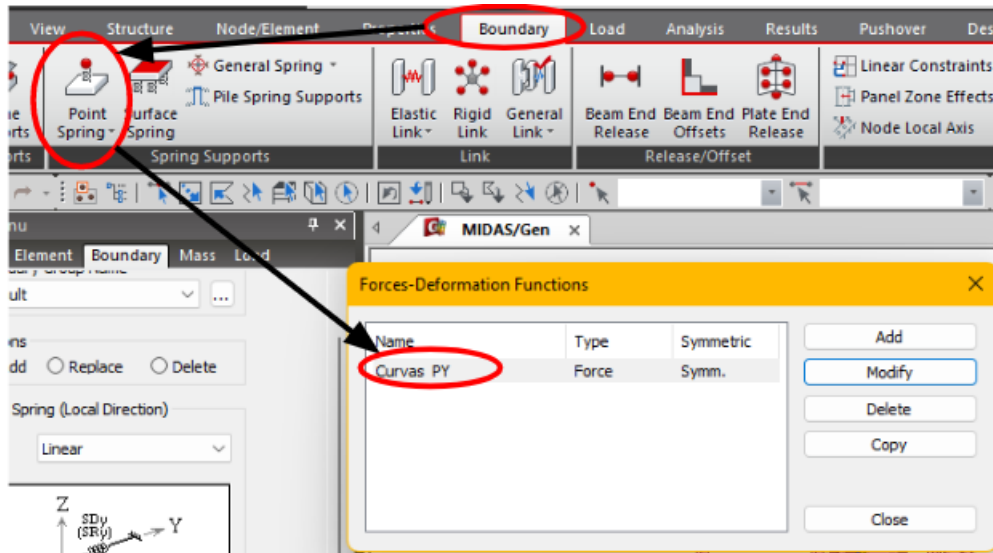


Figura 50. Herramientas para añadir Curvas PY

Fuente: Propia

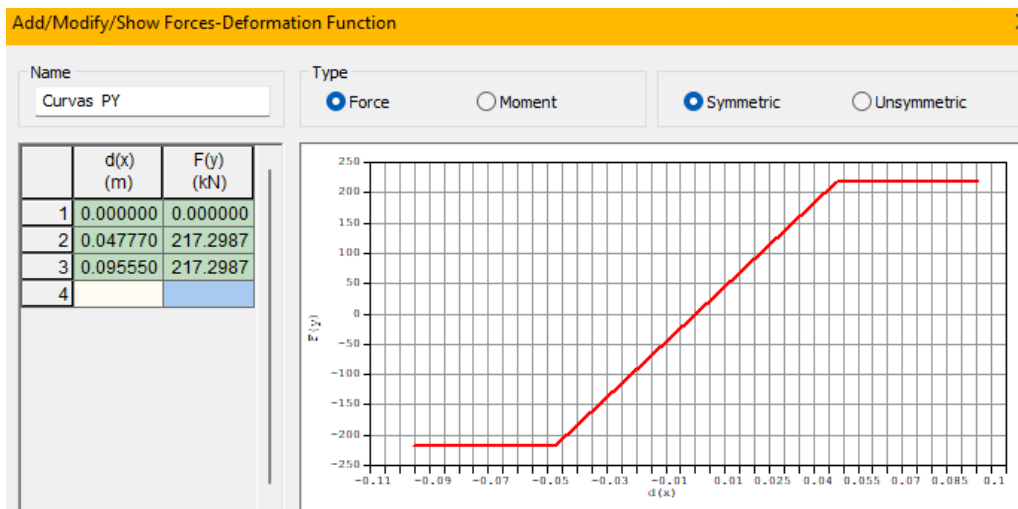


Figura 51. Curva PY en el software

Fuente: Propia

Ahora se añaden de forma multilinear a las barras del Piloedre, en la superficie inferior del bloque de hormigón y en las tres direcciones para que el software considere los ejes X, Y y Z.

Como las barras tienen subdivisiones se les añade a estos nodos donde se dividen, ya que como se mencionó anteriormente, estas actúan como micropilotes, lo que nos indica que los

resortes están sobre toda la longitud de las barras. Igualmente, como se muestra en la siguiente figura.

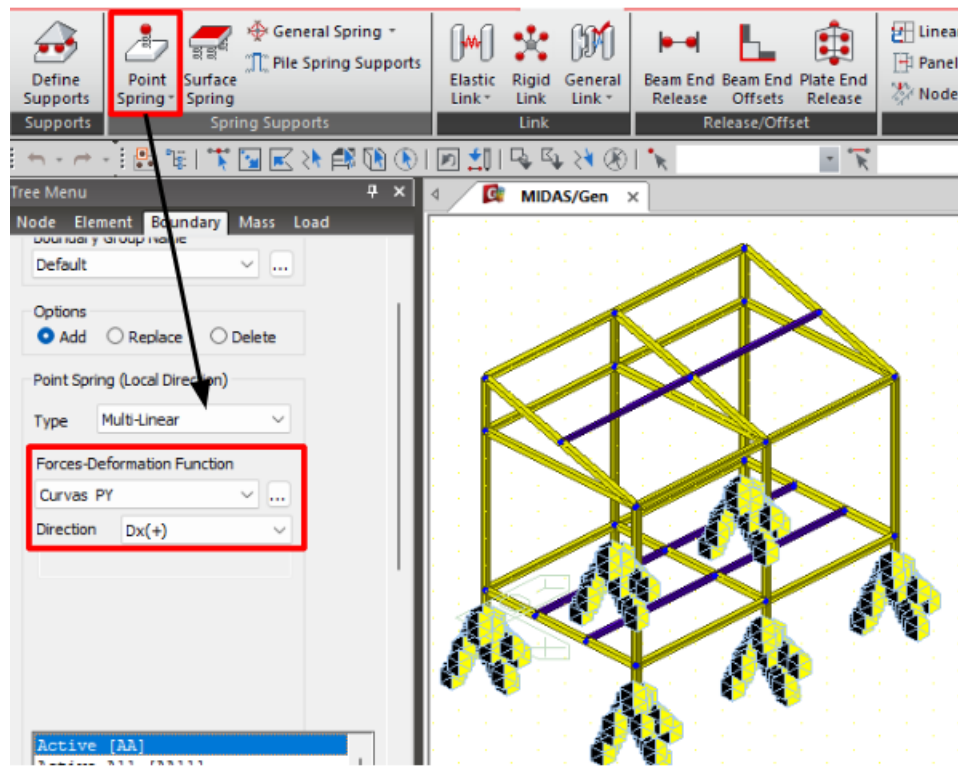


Figura 52. Aplicación de la curva PY al Piloedre

Fuente: Propia

Después de revisar el modelo y que todo esté correcto, ya se le puede indicar al Midas que inicie con el procedimiento para los cálculos y posteriormente para obtener los resultados, se hace por medio de la herramienta "Perform Analysis" como se muestra en la anterior figura 52.

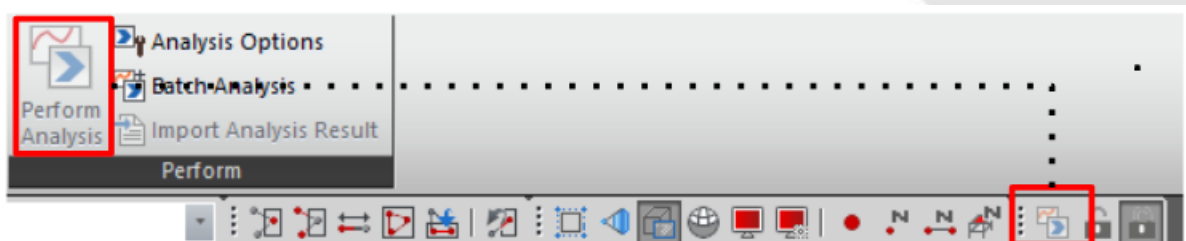


Figura 53. Herramienta para analizar el modelo

Fuente: Propia

CAPÍTULO 3. VALIDACIÓN DE REUTILIZACIÓN DEL PILOEDRE Y LA ESTRUCTURA PARA GARANTIZAR NUEVOS USOS

Se requiere validar el modelo para así garantizar la reutilización de este, por lo que, se debe verificar lo siguiente.

- Conexiones de la estructura

Para la conexión de los elementos que se consideran empotrados, es decir, las columnas con las vigas principales, entendiéndose estas como, los elementos horizontales sobre los que se soporta el piso de la estructura, por lo que se optó por seguir el procedimiento de diseño que ofrece el programa “MIDAS DESIGN+” para conexiones a momentos, con base a lo establecido por la guía de diseño número 4 de la AISC (MIDAS & AISC, 2021).

Por lo anterior podemos decir que una conexión resistente a momento tipo end-plate está compuesta por una placa de acero soldada al extremo de la viga y que está conectada al elemento adyacente, es decir en el ala de la columna por medio de unas filas de pernos de alta resistencia, las conexiones tipo end-plate pueden ser de dos tipos, ya sea conexiones ajustadas o extendidas con o sin rigidizadores, las conexiones extendidas son las que se muestran en la figura 54, donde la placa se extiende más allá del ala de la viga, las cuales pueden ser consideradas como conexiones totalmente empotradas, es decir que tienen suficiente resistencia y rigidez para transferir el momento y mantener el ángulo entre los elementos (MIDAS & AISC, 2021).

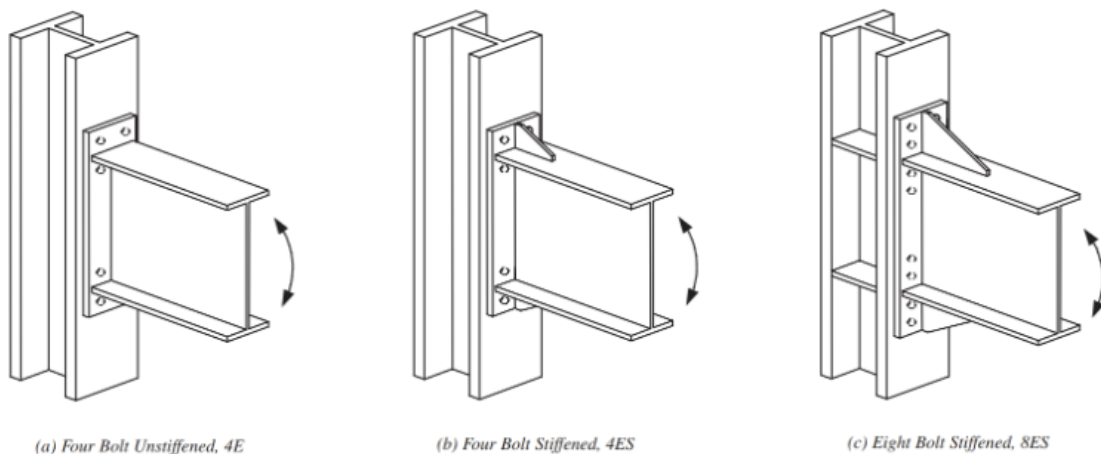


Figura 54. Conexiones a momentos

Fuente: (MIDAS & AISC, 2021).

Siguiendo con el procedimiento de diseño para conexiones a momento, primero se debe importar los nodos de los elementos a conectar del modelo en MIDAS GEN, por lo que una vez hecho eso, se procede a introducir los datos de entrada que pide el programa MIDAS DESIGN+, que este es un software para el diseño de elementos aislados estructurales y no estructurales (Midasoft, 2022), por lo tanto, para cada conexión se utilizó el mismo procedimiento y se puede observar en las figuras 55, 56, 57y 58.

The screenshot displays the software interface for column design. On the left, the 'Member Name' is set to '4W4X13(3)-10' and 'Apply this Member to' is 'Dwg & Report'. The 'Material' is 'A500-50' and the 'Section' is 'H Section' with 'W4X13' selected. A table lists section properties: H (105.66 mm), B (103.12 mm), tw (7.11 mm), tf (8.76 mm), and r (6.35 mm). Below, 'Stiffener (Top)' and 'Stiffener (Bottom)' are both checked for 'Use Stiffener' and 'Full Depth', with a thickness of 9 mm, width of 100.00 mm, and depth of 100.00 mm. The 'Property' section shows 'Material' as 'A325M' and 'Bolt Name' as '1/2'. 'Spacing' parameters are set to 50.00 mm for internal and external dimensions in both X and Y directions. 'Layout (Top)' and 'Layout (Bottom)' are both configured with 2 columns, 1 external row, and 1 internal row. Checkboxes for 'Consider Web Thickness' and 'Consider Flange Thickness' are checked. On the right, technical drawings show a side view and a top view of the column connection with dimensions: 105.66 mm height, 8.76 mm flange thickness, 103.12 mm width, and 255.664 mm total height. A 'Double click to Zoom' instruction is visible at the top.

Figura 55. Parámetros para diseño de columna

Fuente: Propia

General

Member Name: 4W4X13(3)-10

Apply this Member to: Dwg & Report

Column | Girder | Plate | Force

Material

Material: A500-50

Section

Shape: H Section

Use DB: W4X13

H	105.66	mm
B	103.12	mm
tw	7.11	mm
tf	8.76	mm
r	10.29	mm

Stiffener

Use Top Stiffener

Use Bottom Stiffener

Material: A36

Thickness: 6 mm

Width: 100.00 mm

Edge Length: 25.00 mm

Edge Height: 25.00 mm

Figura 56. Parámetros para diseño de la columna

Fuente: Propia

General

Member Name

Apply this Member to

Column | Girder | **Plate** | Force

Material

Material

Section

Thickness mm

Ext.(X) mm

Ext.(Y) mm

Welding

Material N/mm²

Web mm

Flange mm

Stiffener mm

Figura 57. Parámetros para diseño de la placa

Fuente: Propia

General

Member Name 4W4X13(3)-10

Apply this Member to Dwg & Report

Column | Girder | Plate | Force

Force

Apply Expected Yield Stress

Ry 1.500

Mux -2898067.32 N.mm

Vuy 6244.27 N

Load Combinations (52) ...

Design Parameter

Ct 1.000

Figura 58. Parámetros aplicación de fuerzas

Fuente: Propia

Además, la conexión entre vigas principales y vigas articuladas también se realizó con el programa complementario MIDAS DESIGN+, con la herramienta de “bolt connection” que es para conexiones simples, que estas son aquellas que permiten rotación relativa de los elementos que la conectan.

Para el procedimiento de diseño desde el programa ya mencionado se deben indicar parámetros de entrada como los siguientes.

The screenshot displays the 'bolt connection' design parameters in MIDAS DESIGN+. The interface is divided into several sections:

- Material:** Beam/Column and Plate are both set to A500-50.
- Beam/Column:** Shape is H Section, Use DB is checked, and W4X13 is selected.
- Force Table:**

H	105.66	mm
B	103.12	mm
tw	7.11	mm
tf	8.76	mm
r	6.35	mm
- Connection Type:** Shear Connection is selected, with Single Shear chosen.
- Force:** Consider Eccentricity is checked. The force values are: Axial: -0.00 kN, Moment (x): 0.30 kN.m, Moment (y): 0.00 kN.m, Shear (x): 0.00 kN, Shear (y): 0.40 kN.
- Bolt:** Slip-critical is selected. Material is A325M, Type is 1/2, Hole Type is Standard Bolt Holes. Spacing (x) and (y) are 60.00 mm (Auto), Extension (x) and (y) are 40.00 mm (Auto), and Gap is 10.00 mm (Auto).
- Factor:** Moment Distribution Factor is 0.00, Slip Factor is 0.50.
- Web:** No. per Side is 2 (EA), Thickness is 9 mm.
- Flange:** No. per Side is 2 (EA), Thk. (Ext.) is 6 mm, Thk. (Int.) is 6 mm.

The technical drawing shows a side view of the connection with dimensions: 140 mm total width, 10 mm gap, 40 mm spacing between bolts, 60 mm spacing between bolts, 40 mm extension, 35 mm hole diameter, 70 mm hole offset, 105.66 mm flange width, 8.76 mm flange thickness, 103.12 mm web width, 9.00 mm web thickness, 35 mm hole diameter, 70 mm hole offset, and 7.11 mm web thickness.

Figura 59. Parámetros de diseño para conexiones simples

Fuente: Propia

- Conexión estructura - Piloedre

Para la conexión columna - Piloedre, se debe contar con una placa base que contenga en su parte baja central un perno que permite la conexión entre bloque y la placa base, y a su vez, esta debe contar en sus cuatro esquinas con pernos adicionales para la conexión con una platina previamente soldada en la parte inferior de la columna, como se muestra en la figura 60.



Figura 60. Ejemplo de conexión columna - Piloedre

Fuente: Página Piloedre

- Instalación y desinstalación del Piloedre

Para verificar la capacidad reutilizable del Piloedre es importante analizar el conjunto de pasos necesarios para la instalación y desinstalación del elemento, por lo que desde la empresa que suministra los elementos se establecen consideraciones fundamentales para garantizar un correcto uso de este.

Antes de iniciar con el proceso de instalación se deben ejecutar actividades previas, garantizando así, un entorno de obra, es decir, que el lugar esté debidamente cercado y señalizado para un proceso de construcción. Garantizar un área de espacio de 1.5 m a la redonda desde el eje del Piloedre y muy importante verificar antes, que el lugar donde se vaya a instalar el Piloedre no interfiera con cables o ductos para que el proceso de hincado de los tubos, no afecte este aparato (Rosas Alaguero, 2016).

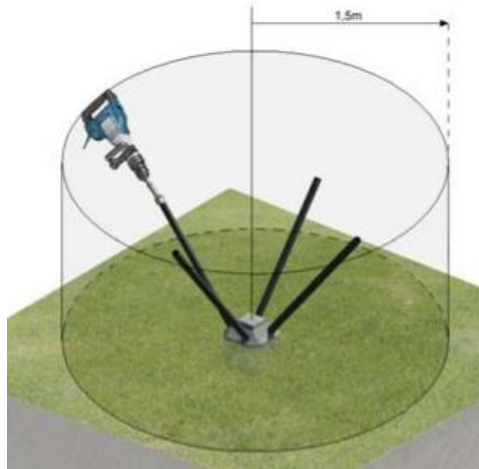


Figura 61. Área de trabajo

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

A continuación, se describen distintos pasos a tener en cuenta en el proceso de instalación.

Paso 1: La recepción de los paquetes del Piloedre, separadas por las piezas de hormigón y los tubos de acero, deben ser trasladados de esta forma hasta el punto de instalación



Figura 62. Paquetes de Piloedre

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Paso 2: Proceso de excavación con dimensiones de 30x30 cm y con una profundidad de 25 cm como mínimo, luego se coloca el Piloedre y se acomoda con un nivel de burbuja.

Paso 3: Después de acomodar el Piloedre se colocan los tubos de acero hasta 10 cm con el martillo de forma manual, en todo el proceso se debe verificar con el nivel de burbuja.



Figura 63. Hincado de tubos de forma manual

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Paso 4: Se hace el clavado de los tubos con el martillo eléctrico, se debe hacer de forma que el martillo quede alineado con los tubos para que este no dañe la pieza de hormigón y también se debe hincar por fases, es decir, cada 30 cm clavar los tubos de acero.



Figura 64. Hincado de tubos de forma mecánica

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre

También es importante tener presente los tiempos de hincado, que dependen del suelo, y para ello se tiene la tabla 17, que relaciona el tipo de suelo según la potencia del martillo eléctrico.

Tabla 17. Tiempo de clavado según terreno

TIPO SUELO	NSPT	Qu (KN/m ²)	Tiempo clavar 10 cm (segundos) (*)
SUPER BLANDO	<5	<40	<2
MUY BLANDO	5-10	40-80	2-4
BLANDO	10-25	80-150	4-8
MEDIO	25-50	150-300	8-12
DUROS	>50	>300	>12

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Finalmente, se hace el clavado de los tubos hasta que el martillo eléctrico llegue al limitador de los tubos, entendiéndose este elemento como la herramienta que permite delimitar hasta donde se deba hincar los tubos.

Paso 5: se coloca el tapón con un adhesivo para el concreto, los cuales protegen los tubos de acero en la parte superior, que una vez finalizado el proceso quedará listo para conectarse a la estructura y soportar la carga transmitida por esta.

Se pueden presentar fallas en el proceso de clavado de los tubos, donde el tiempo de clavado supere los 10 segundos o en donde se dañe la pieza de hormigón o se desacomode. Esto ocurre cuando el terreno es muy resistente, para esto se considera adecuado que los tubos estén clavados hasta 90 cm y parte sobrante del tubo se puede cortar con una sierra. Sin embargo, si la dureza del terreno impide que se claven los 90 cm, se debe perforar con un taladro y una broca que sea capaz de perforar hasta 40 mm de diámetro y debe ser lo suficientemente larga para alcanzar los 90 cm.

Martillo eléctrico. Este elemento debe tener una energía de impacto de alrededor de 40 Julios. Se recomienda el martillo Bosch GSH 16 de peso aproximado 16 kg. Así mismo, este incluye la broca para los tubos en su fase final.



Figura 67. Martillo eléctrico

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Herramienta para el clavado de los tubos. Este se utiliza para la primera fase y es solo para el clavado de los tubos de acero.

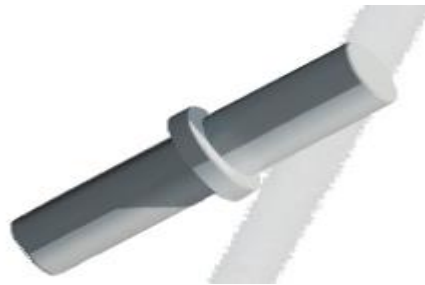


Figura 68. Herramienta para el hincado de los tubos

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Limitador de los tubos. Este mecanismo permite conocer hasta dónde llega el clavo de los tubos de acero y verifica que estén al nivel adecuado.



Figura 69. Limitador de tubos

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Útil de manipulación. Para facilitar la maniobra del Piloedre



Figura 70. Útil de manipulación

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Nivel de burbuja. Controla el nivel de posición del Piloedre mientras se está instalando.



Figura 71. Nivel de burbuja

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Tapón de protección. Sirve para proteger los tubos de acero en la parte superior



Figura 72. Tapón de protección

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Por consiguiente, el manual establece parámetros para desmontaje del Piloedre, ya que estos se han diseñado para reutilizarse numerosas veces según se requiera.

Para ejecutar la desinstalación del elemento deben cumplirse las siguientes condiciones.

- El Piloedre se ha instalado correctamente, existiendo una longitud de tubo sobre la superficie de la pieza de hormigón adecuada para la conexión de las herramientas de desinstalación. El tramo exterior del tubo debe estar en adecuadas condiciones para soportar los esfuerzos de conexión.

- El Piloedre debe estar totalmente descargado y la pieza de hormigón debe estar en adecuadas condiciones para poder conectar las herramientas de desmontaje y soportar los esfuerzos de estas.
- Los tubos del Piloedre deben ser totalmente rectos. Lo anterior implica que los tubos no deben haber superado su límite elástico en ningún momento desde su última instalación.

Además, para realizar el desmontaje del Piloedre se cuentan con varias metodologías, como el uso de llave Stillson, como herramienta básica de desmontaje y con una herramienta especial para desmontaje de Piloedre. Para este caso, donde el Piloedre debe ser reutilizado, se tomará en cuenta las dos últimas metodologías que garantizan una extracción segura para él reuso del Piloedre.



Figura 73. Herramienta básica de desmontaje

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Metodología con herramienta básica para desmontaje de Piloedre: sirve cuando la adherencia de los tubos y el terreno es baja, es decir, en un periodo corto de tiempo de uso del Piloedre

Paso 1: Se retiran los pasantes de protección y eliminar el residuo del material que quede sobre sólido de hormigón.

Paso 2: Conexión mediante el pasador.



Figura 74. Conexión del pasador y la herramienta a las barras de acero

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Paso 3: Mediante la barra pasante y el operario a cargo combinará con un esfuerzo de tracción de giro y la extracción debe ser continua y alineada con los tubos.



Figura 75. Extracción de tubos

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Metodología con herramienta especial para el desmontaje del Piloedre: se utiliza esta metodología cuando la adherencia de los tubos está entre media y alta.



Figura 76. Herramienta especial de desmontaje

Fuente: Manual de instalación y desinstalación de Piloedre.

Paso 1. Quitar los tapones y eliminar cualquier residuo que quede en estos

Paso 2. Se instala la herramienta especial

- la pieza de conexión se perna a la pieza de hormigón
- luego el cuerpo principal con el cable
- Después se tensiona con el pasador de los tubos
- En la otra conexión de los tubos se pasa la palanca

Paso 3. Un operario, mediante una palanca, girará la herramienta con movimientos alternos mientras este mismo operario o un segundo operario mantiene una ligera tensión de extracción.

Dado que el procedimiento de extracción implica aplicar esfuerzos en el mismo Piloedre, será necesario realizar este procedimiento de forma alterna y por fases, no extrayendo más de 25 cm de cada tubo, hasta que estos muestren evidencias que pueden sacarse sin

problemas. Los tubos no se extraerán completamente hasta que todos ellos muestren evidencias que se pueden extraer con poco esfuerzo.

Problemas en la desinstalación

Los problemas más comunes presentados en el desmontaje del Piloedre son los siguientes:

- Algunos o la mayoría de los tubos se pueden doblar, ocasionando que no se pueda desinstalar siguiendo la metodología de desmontaje adecuadamente.

Por lo que en tal caso se debe excavar alrededor del elemento hasta 20 centímetros por debajo de la base y con ayuda de una sierra cortar los tubos que no fueron posible extraerse, por lo que desde ese momento sería posible retirar el bloque de hormigón

- La parte superior de los tubos no permite una adecuada conexión de las herramientas de desmontaje, de tal manera que se debe optar por un mecanismo que permita el giro y extracción de los tubos, así que para ello se podría utilizar soldadura o perforaciones.

Criterios de reutilización

Una vez que se logre desinstalar el Piloedre, este podrá ser reutilizable si se cumple con lo siguiente.

- El bloque de hormigón no presenta lesiones que lleguen a arriesgar su resistencia.
- Las conexiones siguen siendo funcionales.
- Los tubos son completamente rectos.
- Los tubos conservan en gran medida sus propiedades mecánicas.

Criterios de mantenimiento o conservación

- En general, una vez que el Piloedre esté instalado, no requiere mantenimiento, siempre y cuando no haya sido afectado por agentes externos, como la corrosión.
- Se debe garantizar que no se afecte el terreno, aunque si bien este no forma parte del Piloedre, puede afectar su resistencia.
- Evitar excavaciones alrededor del Piloedre.
- Ausencia de vegetación cuyas raíces puedan afectar al Piloedre.
- Existencia de humedales que puedan afectar las características de resistencia del suelo.

RESULTADOS

Fuerza horizontal equivalente

Los resultados obtenidos de la fuerza por piso son los mismos para las direcciones de X y Y.

Tabla 18. Resultados de FHE (unidades para "seismic force" en KN)

Story Name	Weight	Elev.	Seismic Force
Roof	10.616591	4.5	11.504036
4F	19.518782	4.0	18.800323
3F	15.474061	3.5	13.041423
2F	103.07201	0.5	12.409759
G.L.	--	0.0	--

Fuente: Propia

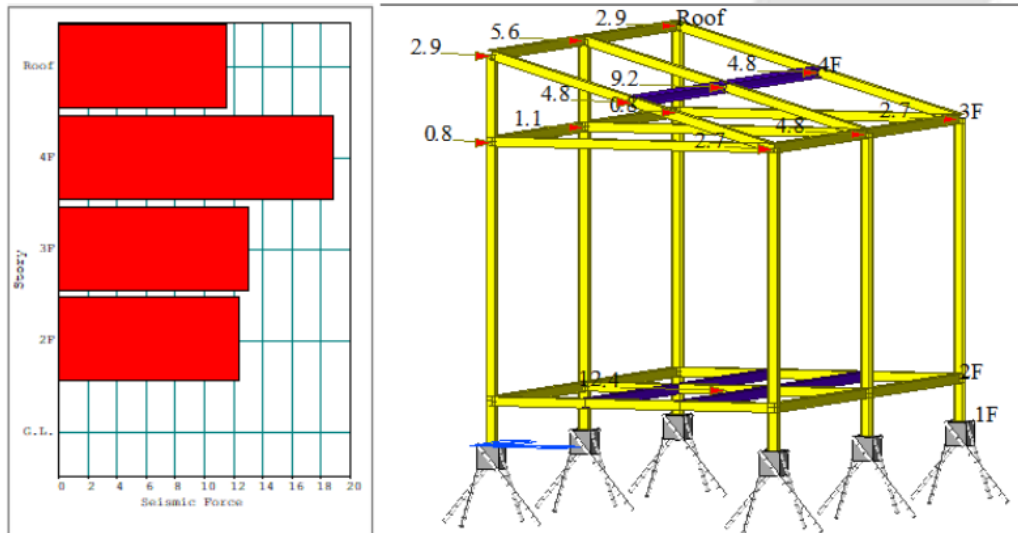


Figura 77. Gráfico de fuerza horizontal por piso

Fuente: propia.

Como se puede observar, la mayor fuerza de sismo en X y Y, se da en el piso 4 de la estructura con 18.8 KN, además los valores que se muestran en la figura 77, al sumarlos por piso equivalen a los valores que hay en la Tabla 18 en la columna "Seismic Force".

Control de derivas

Las Derivas se deben revisar para las combinaciones de carga que no están divididas por R (coeficiente de disipación de energía). Los rangos son los siguientes, primero desde la combinación de carga gLCB7 hasta la gLCB14, segundo desde la combinación gLCB19 hasta la gLCB26, se eligen estas combinaciones porque consideran además de las cargas vivas y muertas, las cargas de sismo y viento.

No	Name	Description
7	gLCB7	1.2D + 1.0Sismo en Sx + 1.0L
8	gLCB8	1.2D + 1.0Sismo en Sy + 1.0L
9	gLCB9	1.2D - 1.0Sismo en Sx + 1.0L
10	gLCB10	1.2D - 1.0Sismo en Sy + 1.0L
11	gLCB11	1.2D + 1.0(1.0)Sismo en x + 1.0L
12	gLCB12	1.2D + 1.0(1.0)Sismo en y + 1.0L
13	gLCB13	1.2D - 1.0(1.0)Sismo en x + 1.0L
14	gLCB14	1.2D - 1.0(1.0)Sismo en y + 1.0L
15	gLCB15	0.9D + 1.0Viento en x
16	gLCB16	0.9D + 1.0Viento en y
17	gLCB17	0.9D - 1.0Viento en x
18	gLCB18	0.9D - 1.0Viento en y
19	gLCB19	0.9D + 1.0Sismo en Sx
20	gLCB20	0.9D + 1.0Sismo en Sy
21	gLCB21	0.9D - 1.0Sismo en Sx
22	gLCB22	0.9D - 1.0Sismo en Sy
23	gLCB23	0.9D + 1.0(1.0)Sismo en x
24	gLCB24	0.9D + 1.0(1.0)Sismo en y
25	gLCB25	0.9D - 1.0(1.0)Sismo en x
26	gLCB26	0.9D - 1.0(1.0)Sismo en y
27	gLCB27	(D)
28	gLCB28	(D) + (L)

Figura 78. Combinaciones de carga para revisar derivas

Fuente: Propia

Tabla 19. Derivas en X

Drift(X)												
Load Case	Story	Story Height (m)	Maximum Drift of All Vertical Elements					Drift at the Center of Mass				
			Node	Story Drift (m)	Modified Drift (m)	Story Drift Ratio	Remark	Story Drift (m)	Modified Drift (m)	Drift Factor (Maximum/CURRENT)	Story Drift Ratio	Remark
RMC=1, Cd/Ie,Not Used, Scale Factor=1, Allowable Ratio=0.01												
gLCB9	1F	0.5	10	-0.0045	-0.0045	-0.009	OK	-0.0035	-0.0035	1.2976	-0.0069	OK
gLCB21	1F	0.5	10	-0.0036	-0.0036	-0.0072	OK	-0.0035	-0.0035	1.0373	-0.0069	OK
gLCB13	1F	0.5	10	-0.0027	-0.0027	-0.0054	OK	-0.0017	-0.0017	1.6021	-0.0034	OK
gLCB25	1F	0.5	10	-0.0018	-0.0018	-0.0036	OK	-0.0017	-0.0017	1.0709	-0.0034	OK
gLCB8	1F	0.5	10	-0.0012	-0.0012	-0.0024	OK	-0.0002	-0.0002	6.559	-0.0004	OK
gLCB12	1F	0.5	10	-0.0011	-0.0011	-0.0022	OK	-0.0001	-0.0001	12.3401	-0.0002	OK
gLCB20	1F	0.5	12	-0.0003	-0.0003	-0.0007	OK	-0.0002	-0.0002	1.8457	-0.0004	OK
Sismo en Sy	1F	0.5	11	-0.0003	-0.0003	-0.0006	OK	-0.0001	-0.0001	1.938	-0.0003	OK
gLCB24	1F	0.5	10	-0.0002	-0.0002	-0.0004	OK	-0.0001	-0.0001	2.3304	-0.0002	OK
gLCB26	1F	0.5	8	-0.0001	-0.0001	-0.0003	OK	0	0	8.1132	0	OK
Sismo en y(RS)	1F	0.5	11	0.0001	0.0001	0.0003	OK	0.0001	0.0001	1.7729	0.0002	OK
gLCB22	1F	0.5	11	0.0003	0.0003	0.0007	OK	0.0001	0.0001	2.9138	0.0002	OK
gLCB14	1F	0.5	9	0.001	0.001	0.0021	OK	0	0	86.7822	0	OK
gLCB10	1F	0.5	9	0.0011	0.0011	0.0023	OK	0.0001	0.0001	10.7463	0.0002	OK
Sismo en x(RS)	1F	0.5	9	0.0017	0.0017	0.0034	OK	0.0017	0.0017	1.0221	0.0033	OK
gLCB23	1F	0.5	9	0.0018	0.0018	0.0035	OK	0.0016	0.0016	1.0846	0.0033	OK
gLCB11	1F	0.5	9	0.0027	0.0027	0.0053	OK	0.0016	0.0016	1.6417	0.0032	OK
Sismo en Sx	1F	0.5	9	0.0035	0.0035	0.007	OK	0.0034	0.0034	1.0174	0.0068	OK
gLCB19	1F	0.5	9	0.0036	0.0036	0.0071	OK	0.0034	0.0034	1.0477	0.0068	OK
gLCB7	1F	0.5	9	0.0044	0.0044	0.0089	OK	0.0034	0.0034	1.3141	0.0068	OK
gLCB9	2F	3	4	-0.0403	-0.0403	-0.134	NG	-0.0356	-0.0356	1.1328	-0.119	NG
gLCB21	2F	3	4	-0.04	-0.04	-0.133	NG	-0.0354	-0.0354	1.1313	-0.118	NG
gLCB13	2F	3	4	-0.0205	-0.0205	-0.068	OK	-0.0174	-0.0174	1.182	-0.0058	OK
gLCB25	2F	3	4	-0.0202	-0.0202	-0.067	OK	-0.0172	-0.0172	1.1796	-0.0057	OK
gLCB10	2F	3	2	-0.0027	-0.0027	-0.009	OK	-0.0009	-0.0009	2.9909	-0.0003	OK
gLCB14	2F	3	2	-0.0025	-0.0025	-0.008	OK	-0.0018	-0.0018	1.3338	-0.0006	OK
gLCB20	2F	3	5	-0.0024	-0.0024	-0.008	OK	-0.0013	-0.0013	1.8611	-0.0004	OK
gLCB8	2F	3	6	-0.0021	-0.0021	-0.007	OK	-0.0015	-0.0015	1.3784	-0.0005	OK
gLCB22	2F	3	1	-0.0019	-0.0019	-0.006	OK	-0.0007	-0.0007	2.9083	-0.0002	OK
gLCB26	2F	3	5	-0.0018	-0.0018	-0.006	OK	-0.0016	-0.0016	1.0867	-0.0005	OK
Sismo en Sy	2F	3	6	-0.0016	-0.0016	-0.005	OK	-0.0003	-0.0003	4.997	-0.0001	OK
gLCB12	2F	3	4	-0.0014	-0.0014	-0.005	OK	-0.0006	-0.0006	2.3837	-0.0002	OK
gLCB24	2F	3	3	-0.0011	-0.0011	-0.004	OK	-0.0004	-0.0004	3.0671	-0.0001	OK
Sismo en y(RS)	2F	3	6	0.001	0.001	0.003	OK	0.0002	0.0002	4.136	0.0001	OK
gLCB11	2F	3	4	0.0176	0.0176	0.0059	OK	0.0149	0.0149	1.1754	0.005	OK
gLCB23	2F	3	4	0.0179	0.0179	0.006	OK	0.0152	0.0152	1.1782	0.0051	OK
Sismo en x(RS)	2F	3	4	0.0192	0.0192	0.0064	OK	0.0162	0.0162	1.1797	0.0054	OK
gLCB7	2F	3	4	0.0373	0.0373	0.124	NG	0.0332	0.0332	1.1262	0.111	NG
gLCB19	2F	3	4	0.0377	0.0377	0.126	NG	0.0334	0.0334	1.1278	0.111	NG
Sismo en Sx	2F	3	4	0.0388	0.0388	0.129	NG	0.0344	0.0344	1.1296	0.115	NG
Sismo en Sx	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0012	0.0012	1	0.0023	OK
gLCB13	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0014	-0.0014	1	-0.0029	OK
gLCB25	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0012	-0.0012	1	-0.0024	OK
Sismo en Sy	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB10	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0009	-0.0009	1	-0.0017	OK
gLCB14	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0009	-0.0009	1	-0.0018	OK
gLCB11	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0003	-0.0003	1	-0.0006	OK
Sismo en y(RS)	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB24	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0006	-0.0006	1	-0.0012	OK
gLCB19	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0005	0.0005	1	0.0011	OK
gLCB26	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0006	-0.0006	1	-0.0013	OK
gLCB9	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.002	-0.002	1	-0.0041	OK
gLCB7	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0003	0.0003	1	0.0006	OK
gLCB20	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0006	-0.0006	1	-0.0012	OK
gLCB23	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	-0.0001	OK
gLCB12	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0008	-0.0008	1	-0.0017	OK
gLCB22	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0006	-0.0006	1	-0.0012	OK
gLCB21	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0018	-0.0018	1	-0.0036	OK
Sismo en x(RS)	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0006	0.0006	1	0.0012	OK
gLCB8	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0009	-0.0009	1	-0.0017	OK
gLCB22	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0006	0.0006	1	0.0013	OK
gLCB21	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0015	0.0015	1	0.0029	OK
gLCB8	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0009	0.0009	1	0.0017	OK
Sismo en Sy	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB23	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0002	0.0002	1	0.0004	OK
gLCB9	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0017	0.0017	1	0.0034	OK
gLCB20	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0006	0.0006	1	0.0013	OK
gLCB7	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0.0001	OK
gLCB24	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0006	0.0006	1	0.0012	OK
gLCB19	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0002	-0.0002	1	-0.0004	OK
Sismo en x(RS)	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0004	0.0004	1	0.0009	OK
gLCB10	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0009	0.0009	1	0.0017	OK
gLCB25	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0011	0.0011	1	0.0021	OK
gLCB11	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0004	0.0004	1	0.0009	OK
Sismo en y(RS)	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB13	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0013	0.0013	1	0.0026	OK
gLCB26	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0007	0.0007	1	0.0013	OK
gLCB12	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0008	0.0008	1	0.0017	OK
gLCB14	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0009	0.0009	1	0.0018	OK
Sismo en Sx	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0008	-0.0008	1	-0.0016	OK

Fuente: Propia

Tabla 20. Derivas en Y

Drift(Y)												
Load Case	Story	Story Height (m)	Maximum Drift of All Vertical Elements					Drift at the Center of Mass				
			Node	Story Drift (m)	Modified Drift (m)	Story Drift Ratio	Remark	Story Drift (m)	Modified Drift (m)	Drift Factor (Maximum/CURRENT)	Story Drift Ratio	Remark
RMC=1, Cd/Ie, Not Used, Scale Factor=1,			Allowable Ratio=0.01									
gLCB10	1F	0.5	7	-0.0034	-0.0034	-0.0068	OK	-0.003	-0.003	1.138	-0.006	OK
gLCB22	1F	0.5	7	-0.0032	-0.0032	-0.0064	OK	-0.003	-0.003	1.0768	-0.006	OK
gLCB14	1F	0.5	7	-0.0017	-0.0017	-0.0034	OK	-0.0014	-0.0014	1.2048	-0.0028	OK
gLCB26	1F	0.5	7	-0.0015	-0.0015	-0.003	OK	-0.0014	-0.0014	1.0743	-0.0028	OK
gLCB9	1F	0.5	7	-0.0004	-0.0004	-0.0007	OK	-0.0002	-0.0002	2.3593	-0.0003	OK
gLCB11	1F	0.5	7	-0.0003	-0.0003	-0.0005	OK	0	0	5.7838	-0.0001	OK
gLCB21	1F	0.5	7	-0.0002	-0.0002	-0.0004	OK	-0.0002	-0.0002	1.1667	-0.0003	OK
gLCB23	1F	0.5	7	-0.0001	-0.0001	-0.0001	OK	0	0	1.5797	-0.0001	OK
gLCB25	1F	0.5	12	0.0001	0.0001	0.0001	OK	0	0	1.596	0.0001	OK
Sismo en x(RS)	1F	0.5	12	0.0001	0.0001	0.0002	OK	0.0001	0.0001	1.0342	0.0002	OK
Sismo en Sx	1F	0.5	12	0.0002	0.0002	0.0003	OK	0.0002	0.0002	1.0457	0.0003	OK
gLCB19	1F	0.5	12	0.0002	0.0002	0.0004	OK	0.0002	0.0002	1.1907	0.0003	OK
gLCB13	1F	0.5	12	0.0002	0.0002	0.0005	OK	0	0	5.7144	0.0001	OK
gLCB7	1F	0.5	12	0.0004	0.0004	0.0007	OK	0.0002	0.0002	2.3647	0.0003	OK
gLCB24	1F	0.5	11	0.0015	0.0015	0.0029	OK	0.0014	0.0014	1.0436	0.0028	OK
Sismo en y(RS)	1F	0.5	7	0.0015	0.0015	0.003	OK	0.0014	0.0014	1.0576	0.0028	OK
gLCB12	1F	0.5	12	0.0016	0.0016	0.0032	OK	0.0014	0.0014	1.1408	0.0028	OK
gLCB20	1F	0.5	7	0.0032	0.0032	0.0063	OK	0.003	0.003	1.0592	0.006	OK
gLCB8	1F	0.5	12	0.0032	0.0032	0.0063	OK	0.003	0.003	1.0604	0.006	OK
Sismo en Sy	1F	0.5	7	0.0032	0.0032	0.0064	OK	0.003	0.003	1.068	0.006	OK
gLCB10	2F	3	3	-0.0715	-0.0715	-0.238	NG	-0.0681	-0.0681	1.0502	-0.0227	NG
gLCB22	2F	3	3	-0.0713	-0.0713	-0.238	NG	-0.0681	-0.0681	1.0472	-0.0227	NG
gLCB14	2F	3	5	-0.0304	-0.0304	-0.101	NG	-0.0289	-0.0289	1.049	-0.096	OK
gLCB26	2F	3	3	-0.0301	-0.0301	-0.01	NG	-0.0289	-0.0289	1.0419	-0.096	OK
gLCB9	2F	3	5	-0.0004	-0.0004	-0.0001	OK	-0.0002	-0.0002	2.3783	-0.0001	OK
gLCB11	2F	3	5	-0.0003	-0.0003	-0.0001	OK	-0.0001	-0.0001	5.5749	0	OK
gLCB21	2F	3	5	-0.0002	-0.0002	-0.0001	OK	-0.0002	-0.0002	1.1628	-0.0001	OK
gLCB23	2F	3	5	-0.0001	-0.0001	0	OK	-0.0001	-0.0001	1.7275	0	OK
gLCB25	2F	3	6	0.0001	0.0001	0	OK	0.0001	0.0001	1.2529	0	OK
Sismo en Sx	2F	3	2	0.0002	0.0002	0.0001	OK	0.0002	0.0002	1.0469	0.0001	OK
gLCB19	2F	3	2	0.0002	0.0002	0.0001	OK	0.0002	0.0002	1.1799	0.0001	OK
Sismo en x(RS)	2F	3	2	0.0002	0.0002	0.0001	OK	0.0002	0.0002	1.0606	0.0001	OK
gLCB13	2F	3	6	0.0003	0.0003	0.0001	OK	0.0001	0.0001	4.8986	0	OK
gLCB7	2F	3	2	0.0004	0.0004	0.0001	OK	0.0002	0.0002	2.3494	0.0001	OK
gLCB12	2F	3	1	0.0299	0.0299	0.01	OK	0.0289	0.0289	1.0335	0.0096	OK
gLCB24	2F	3	3	0.0301	0.0301	0.01	NG	0.0289	0.0289	1.0403	0.0096	OK
Sismo en y(RS)	2F	3	3	0.0305	0.0305	0.0102	NG	0.0293	0.0293	1.0404	0.0096	OK
gLCB8	2F	3	3	0.0711	0.0711	0.0237	NG	0.0681	0.0681	1.0436	0.0227	NG
gLCB20	2F	3	3	0.0713	0.0713	0.0238	NG	0.0681	0.0681	1.0465	0.0227	NG
Sismo en Sy	2F	3	3	0.0713	0.0713	0.0238	NG	0.0681	0.0681	1.0469	0.0227	NG
gLCB10	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0105	-0.0105	1	-0.021	NG
gLCB13	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB25	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
Sismo en x(RS)	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0001	0.0001	1	0.0002	OK
gLCB23	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB14	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0046	-0.0046	1	-0.0093	OK
Sismo en y(RS)	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0049	0.0049	1	0.0098	OK
gLCB11	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB7	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB19	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB9	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB12	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0047	0.0047	1	0.0093	OK
gLCB8	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0105	0.0105	1	0.021	NG
gLCB20	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0105	0.0105	1	0.021	NG
gLCB24	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0046	0.0046	1	0.0093	OK
Sismo en Sx	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB22	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0105	-0.0105	1	-0.021	NG
gLCB21	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK
gLCB26	3F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0046	-0.0046	1	-0.0093	OK
Sismo en Sy	3F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0105	0.0105	1	0.021	NG
gLCB22	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0014	0.0014	1	0.0028	OK
gLCB21	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	-0.0001	OK
gLCB20	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0015	-0.0015	1	-0.003	OK
Sismo en x(RS)	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0001	0.0001	1	0.0002	OK
gLCB23	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0001	-0.0001	1	-0.0001	OK
gLCB14	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0005	0.0005	1	0.001	OK
gLCB13	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0004	-0.0004	1	-0.0009	OK
Sismo en Sy	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0015	-0.0015	1	-0.0029	OK
gLCB24	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.001	-0.001	1	-0.0021	OK
gLCB12	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0014	-0.0014	1	-0.0029	OK
Sismo en y(RS)	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.002	0.002	1	0.0039	OK
gLCB11	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0005	-0.0005	1	-0.001	OK
gLCB25	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	-0.0001	OK
gLCB10	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.001	0.001	1	0.002	OK
gLCB9	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0005	-0.0005	1	-0.0009	OK
gLCB8	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0019	-0.0019	1	-0.0038	OK
gLCB26	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0.0009	0.0009	1	0.0019	OK
gLCB7	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0005	-0.0005	1	-0.0009	OK
gLCB19	4F	0.5	0	0	0	0	OK	-0.0001	-0.0001	1	-0.0001	OK
Sismo en Sx	4F	0.5	0	0	0	0	OK	0	0	1	0	OK

Fuente: Propia

Control de desplazamientos

Con estos resultados se logra observar cuánto se está moviendo la estructura, cuando actúan las cargas y cuando el sismo llegue al 100% de su capacidad.

Tabla 21. Desplazamientos en X (1 de 2)

Displacement(X)								
	Load Case	Node	Story	Level (m)	Story Height (m)	Maximum Displacement (m)	Average Displacement (m)	Maximum / Average
	gLCB26	80	1F	0	0.5	-0.0006	-0.0002	3.1419
	gLCB25	80	1F	0	0.5	-0.001	-0.0006	1.7653
	gLCB24	108	1F	0	0.5	0.0005	0.0002	3.2956
	gLCB23	108	1F	0	0.5	0.001	0.0006	1.7955
	Sismo en Sx	100	1F	0	0.5	0.0014	0.0011	1.2055
	gLCB22	80	1F	0	0.5	-0.0007	-0.0003	2.2897
	gLCB21	80	1F	0	0.5	-0.0017	-0.0011	1.481
	gLCB20	108	1F	0	0.5	0.0007	0.0003	2.2941
	gLCB19	108	1F	0	0.5	0.0017	0.0011	1.5129
	Sismo en Sy	92	1F	0	0.5	0.0006	0.0003	1.8432
	gLCB14	80	1F	0	0.5	-0.0025	-0.0002	13.7379
	gLCB13	80	1F	0	0.5	-0.0029	-0.0006	5.0366
	gLCB12	108	1F	0	0.5	0.0024	0.0002	15.2607
	gLCB11	108	1F	0	0.5	0.0029	0.0006	5.1953
	Sismo en x(RS)	100	1F	0	0.5	0.0007	0.0006	1.1801
	gLCB10	80	1F	0	0.5	-0.0026	-0.0003	8.2811
	gLCB9	80	1F	0	0.5	-0.0036	-0.0011	3.1404
	gLCB8	108	1F	0	0.5	0.0026	0.0003	8.7106
	gLCB7	108	1F	0	0.5	0.0036	0.0011	3.2078
	Sismo en y(RS)	92	1F	0	0.5	0.0003	0.0002	1.5321
	gLCB26	1	2F	0.5	3	-0.0003	-0.0002	1.5291
	gLCB25	1	2F	0.5	3	-0.0023	-0.0023	1.0154
	gLCB19	5	2F	0.5	3	0.0046	0.0045	1.0106
	gLCB7	5	2F	0.5	3	0.0049	0.0045	1.0876
	Sismo en y(RS)	1	2F	0.5	3	0.0002	0.0001	1.3926
	Sismo en Sy	1	2F	0.5	3	0.0004	0.0002	2.2069
	gLCB13	1	2F	0.5	3	-0.0027	-0.0023	1.1679
	gLCB20	1	2F	0.5	3	0.0003	0.0001	2.2672
	gLCB8	5	2F	0.5	3	0.0003	0.0001	2.6631
	gLCB12	5	2F	0.5	3	0.0005	0.0001	4.8661
	gLCB24	1	2F	0.5	3	0.0001	0.0001	1.1504
	Sismo en x(RS)	5	2F	0.5	3	0.0022	0.0022	1.0023
	gLCB11	5	2F	0.5	3	0.0026	0.0022	1.1801
	gLCB9	1	2F	0.5	3	-0.005	-0.0046	1.0823
	Sismo en Sx	5	2F	0.5	3	0.0046	0.0046	1.0017
	gLCB23	5	2F	0.5	3	0.0022	0.0022	1.0207
	gLCB21	1	2F	0.5	3	-0.0046	-0.0046	1.007
	gLCB22	1	2F	0.5	3	-0.0004	-0.0002	2.1701
	gLCB10	1	2F	0.5	3	-0.0008	-0.0002	3.7647
	gLCB14	1	2F	0.5	3	-0.0006	-0.0002	3.3377
	gLCB22	13	3F	3.5	0.5	-0.0024	-0.0009	2.7369
	gLCB23	16	3F	3.5	0.5	0.0201	0.0174	1.1557
	gLCB11	16	3F	3.5	0.5	0.0197	0.0171	1.1531
	gLCB9	16	3F	3.5	0.5	-0.0449	-0.0402	1.1175
	gLCB24	15	3F	3.5	0.5	-0.001	-0.0003	3.6114
	gLCB21	16	3F	3.5	0.5	-0.0446	-0.04	1.1162
	Sismo en Sy	18	3F	3.5	0.5	-0.0017	-0.0002	10.2837
	gLCB12	16	3F	3.5	0.5	-0.0013	-0.0005	2.5609
	Sismo en y(RS)	18	3F	3.5	0.5	0.001	0.0007	1.3978
	Sismo en x(RS)	16	3F	3.5	0.5	0.0213	0.0184	1.1572
	gLCB8	18	3F	3.5	0.5	-0.0018	-0.0014	1.2748
	gLCB20	17	3F	3.5	0.5	-0.0025	-0.0012	2.0817
	gLCB13	16	3F	3.5	0.5	-0.0228	-0.0196	1.1609
	Sismo en Sx	16	3F	3.5	0.5	0.0434	0.0389	1.1144
	gLCB25	16	3F	3.5	0.5	-0.0225	-0.0194	1.1586
	gLCB7	16	3F	3.5	0.5	0.0419	0.0377	1.1111
	gLCB19	16	3F	3.5	0.5	0.0422	0.0379	1.1125
	gLCB14	14	3F	3.5	0.5	-0.0031	-0.002	1.5405
	gLCB10	14	3F	3.5	0.5	-0.0035	-0.0011	3.1393
	gLCB26	13	3F	3.5	0.5	-0.002	-0.0018	1.1368

Fuente: Propia

Tabla 22. Desplazamientos en X (2 de 2)

Displacement(X)								
	Load Case	Node	Story	Level (m)	Story Height (m)	Maximum Displacement (m)	Average Displacement (m)	Maximum / Average
	gLCB26	30	4F	4	0.5	-0.0025	-0.0024	1.0443
	gLCB19	29	4F	4	0.5	0.0426	0.0385	1.1084
	gLCB14	30	4F	4	0.5	-0.0038	-0.0029	1.3102
	gLCB7	29	4F	4	0.5	0.042	0.038	1.1051
	Sismo en x(RS)	29	4F	4	0.5	0.022	0.019	1.1604
	gLCB25	29	4F	4	0.5	-0.0241	-0.0206	1.1707
	gLCB20	28	4F	4	0.5	-0.003	-0.0018	1.6428
	gLCB13	29	4F	4	0.5	-0.0248	-0.0211	1.1751
	gLCB8	29	4F	4	0.5	-0.003	-0.0023	1.2931
	gLCB12	29	4F	4	0.5	-0.0026	-0.0014	1.8801
	gLCB9	29	4F	4	0.5	-0.0475	-0.0422	1.1254
	gLCB21	29	4F	4	0.5	-0.0469	-0.0418	1.1226
	gLCB24	29	4F	4	0.5	-0.0019	-0.0009	2.159
	gLCB11	29	4F	4	0.5	0.0192	0.0168	1.142
	Sismo en Sy	28	4F	4	0.5	-0.0017	-0.0002	10.1006
	Sismo en y(RS)	28	4F	4	0.5	0.0011	0.0008	1.3952
	gLCB22	30	4F	4	0.5	-0.0029	-0.0015	1.9381
	Sismo en Sx	29	4F	4	0.5	0.0447	0.0401	1.1158
	gLCB10	30	4F	4	0.5	-0.0041	-0.002	2.1125
	gLCB23	29	4F	4	0.5	0.0199	0.0173	1.1482
	gLCB23	20	Roof	4.5	0	0.0202	0.0175	1.1547
	Sismo en Sy	21	Roof	4.5	0	-0.0016	-0.0002	9.9666
	Sismo en y(RS)	21	Roof	4.5	0	0.001	0.0007	1.3939
	gLCB10	19	Roof	4.5	0	-0.0034	-0.0011	3.1157
	gLCB22	19	Roof	4.5	0	-0.0023	-0.0008	2.757
	gLCB24	20	Roof	4.5	0	-0.001	-0.0003	3.694
	gLCB12	20	Roof	4.5	0	-0.0013	-0.0005	2.5097
	gLCB21	20	Roof	4.5	0	-0.0449	-0.0403	1.1152
	gLCB9	20	Roof	4.5	0	-0.0453	-0.0405	1.1162
	gLCB13	20	Roof	4.5	0	-0.023	-0.0198	1.1591
	gLCB25	20	Roof	4.5	0	-0.0226	-0.0196	1.1577
	gLCB20	21	Roof	4.5	0	-0.0024	-0.0012	2.0782
	gLCB8	21	Roof	4.5	0	-0.0018	-0.0014	1.2506
	gLCB14	19	Roof	4.5	0	-0.0031	-0.002	1.5399
	gLCB11	20	Roof	4.5	0	0.0199	0.0173	1.1531
	gLCB26	19	Roof	4.5	0	-0.002	-0.0018	1.1395
	gLCB19	20	Roof	4.5	0	0.0425	0.0383	1.1116
	Sismo en x(RS)	20	Roof	4.5	0	0.0214	0.0185	1.1563
	gLCB7	20	Roof	4.5	0	0.0422	0.038	1.1106
	Sismo en Sx	20	Roof	4.5	0	0.0437	0.0393	1.1135

Fuente. Propia

Tabla 23. Desplazamientos en Y (1 de 2)

Displacement(Y)								
	Load Case	Node	Story	Level (m)	Story Height (m)	Maximum Displacement (m)	Average Displacement (m)	Maximum / Average
	gLCB26	82	1F	0	0.5	-0.0009	-0.0005	1.7147
	gLCB25	106	1F	0	0.5	-0.0005	-0.0002	2.9035
	gLCB24	80	1F	0	0.5	0.0009	0.0005	1.682
	gLCB23	80	1F	0	0.5	0.0006	0.0002	2.8984
	Sismo en Sx	80	1F	0	0.5	-0.0006	-0.0004	1.618
	gLCB22	82	1F	0	0.5	-0.0014	-0.0009	1.5198
	gLCB21	80	1F	0	0.5	0.0009	0.0004	2.3016
	gLCB20	80	1F	0	0.5	0.0014	0.001	1.5087
	gLCB19	106	1F	0	0.5	-0.0009	-0.0004	2.3146
	Sismo en Sy	80	1F	0	0.5	0.0012	0.0009	1.2307
	gLCB14	82	1F	0	0.5	-0.0019	-0.0005	3.8371
	gLCB13	106	1F	0	0.5	-0.0015	-0.0002	7.9929
	gLCB12	104	1F	0	0.5	0.0019	0.0005	3.7451
	gLCB11	80	1F	0	0.5	0.0015	0.0002	7.6966
	Sismo en x(RS)	80	1F	0	0.5	0.0003	0.0002	1.5653
	gLCB10	82	1F	0	0.5	-0.0025	-0.0009	2.6489
	gLCB9	80	1F	0	0.5	0.0018	0.0004	4.7708
	gLCB8	104	1F	0	0.5	0.0024	0.001	2.5668
	gLCB7	106	1F	0	0.5	-0.0018	-0.0004	4.8685
	Sismo en y(RS)	80	1F	0	0.5	0.0006	0.0005	1.1633
	gLCB26	1	2F	0.5	3	-0.002	-0.0019	1.035
	gLCB25	1	2F	0.5	3	-0.0002	-0.0001	1.1863
	gLCB19	1	2F	0.5	3	-0.0003	-0.0002	1.1253
	gLCB7	1	2F	0.5	3	-0.0005	-0.0002	2.0382
	Sismo en y(RS)	1	2F	0.5	3	0.0019	0.0019	1.0226
	Sismo en Sy	1	2F	0.5	3	0.004	0.0039	1.0292
	gLCB13	1	2F	0.5	3	-0.0004	-0.0001	2.6249
	gLCB20	1	2F	0.5	3	0.004	0.0039	1.0232
	gLCB8	2	2F	0.5	3	0.0041	0.0039	1.0282
	gLCB12	2	2F	0.5	3	0.0021	0.0019	1.096
	gLCB24	1	2F	0.5	3	0.0019	0.0019	1.0103
	Sismo en x(RS)	1	2F	0.5	3	0.0001	0.0001	1.0207
	gLCB11	2	2F	0.5	3	0.0004	0.0002	2.4825
	gLCB9	2	2F	0.5	3	0.0005	0.0002	1.9565
	Sismo en Sx	1	2F	0.5	3	-0.0002	-0.0002	1.02
	gLCB23	2	2F	0.5	3	0.0002	0.0001	1.1364
	gLCB21	2	2F	0.5	3	0.0002	0.0002	1.0818
	gLCB22	1	2F	0.5	3	-0.0041	-0.0039	1.0352
	gLCB10	1	2F	0.5	3	-0.0043	-0.0039	1.0867
	gLCB14	1	2F	0.5	3	-0.0022	-0.0019	1.1416
	gLCB22	15	3F	3.5	0.5	-0.0754	-0.072	1.0466
	gLCB23	14	3F	3.5	0.5	0.0002	0.0001	1.5922
	gLCB11	18	3F	3.5	0.5	0.0006	0.0001	5.737
	gLCB9	18	3F	3.5	0.5	0.0005	0.0001	8.115
	gLCB24	15	3F	3.5	0.5	0.032	0.0308	1.0384
	gLCB21	18	3F	3.5	0.5	0.0001	0.0001	1.6917
	Sismo en Sy	15	3F	3.5	0.5	0.0753	0.072	1.0459
	gLCB12	13	3F	3.5	0.5	0.0316	0.0308	1.0255
	Sismo en y(RS)	15	3F	3.5	0.5	0.0321	0.0308	1.04
	Sismo en x(RS)	14	3F	3.5	0.5	0.0001	0.0001	1.1143
	gLCB8	15	3F	3.5	0.5	0.0749	0.072	1.0396
	gLCB20	15	3F	3.5	0.5	0.0753	0.072	1.0452
	gLCB13	17	3F	3.5	0.5	-0.0005	-0.0001	6.2675
	Sismo en Sx	13	3F	3.5	0.5	-0.0001	-0.0001	1.2186
	gLCB25	17	3F	3.5	0.5	-0.0001	-0.0001	1.5062
	gLCB7	17	3F	3.5	0.5	-0.0005	-0.0001	10.029
	gLCB19	17	3F	3.5	0.5	-0.0001	-0.0001	2.0834
	gLCB14	17	3F	3.5	0.5	-0.0325	-0.0308	1.0547
	gLCB10	15	3F	3.5	0.5	-0.0758	-0.072	1.0521
	gLCB26	15	3F	3.5	0.5	-0.0321	-0.0308	1.0415

Fuente: Propia

Tabla 24. Desplazamientos en Y (2 de 2)

Displacement(Y)								
	Load Case	Node	Story	Level (m)	Story Height (m)	Maximum Displacement (m)	Average Displacement (m)	Maximum / Average
	gLCB26	29	4F	4	0.5	-0.0355	-0.0355	1
	gLCB19	28	4F	4	0.5	-0.0001	-0.0001	1.0339
	gLCB14	29	4F	4	0.5	-0.0355	-0.0355	1
	gLCB7	28	4F	4	0.5	0	0	1.0349
	Sismo en x(RS)	30	4F	4	0.5	0.0001	0.0001	1.0076
	gLCB25	30	4F	4	0.5	-0.0001	-0.0001	1.0104
	gLCB20	29	4F	4	0.5	0.0826	0.0825	1
	gLCB13	30	4F	4	0.5	-0.0001	-0.0001	1.0129
	gLCB8	29	4F	4	0.5	0.0826	0.0826	1
	gLCB12	29	4F	4	0.5	0.0355	0.0355	1
	gLCB9	28	4F	4	0.5	0.0001	0.0001	1.0362
	gLCB21	28	4F	4	0.5	0.0001	0.0001	1.0372
	gLCB24	29	4F	4	0.5	0.0355	0.0355	1
	gLCB11	30	4F	4	0.5	0.0001	0.0001	1.0033
	Sismo en Sy	29	4F	4	0.5	0.0825	0.0825	1
	Sismo en y(RS)	29	4F	4	0.5	0.0355	0.0355	1
	gLCB22	29	4F	4	0.5	-0.0825	-0.0825	1
	Sismo en Sx	28	4F	4	0.5	-0.0001	-0.0001	1.0357
	gLCB10	29	4F	4	0.5	-0.0825	-0.0825	1
	gLCB23	30	4F	4	0.5	0.0001	0.0001	1.0051
	gLCB23	21	Roof	4.5	0	0.0001	0.0001	1.1151
	Sismo en Sy	19	Roof	4.5	0	0.0811	0.0811	1
	Sismo en y(RS)	19	Roof	4.5	0	0.0345	0.0345	1
	gLCB10	19	Roof	4.5	0	-0.0816	-0.0815	1.0002
	gLCB22	19	Roof	4.5	0	-0.0811	-0.0811	1.0001
	gLCB24	21	Roof	4.5	0	0.0345	0.0345	1.0002
	gLCB12	21	Roof	4.5	0	0.0341	0.0341	1.0003
	gLCB21	21	Roof	4.5	0	0	0	0.159
	gLCB9	19	Roof	4.5	0	-0.0004	-0.0004	1.0207
	gLCB13	19	Roof	4.5	0	-0.0006	-0.0005	1.0169
	gLCB25	19	Roof	4.5	0	-0.0001	-0.0001	1.0309
	gLCB20	21	Roof	4.5	0	0.0811	0.0811	1.0001
	gLCB8	21	Roof	4.5	0	0.0807	0.0806	1.0002
	gLCB14	19	Roof	4.5	0	-0.035	-0.035	1.0003
	gLCB11	19	Roof	4.5	0	-0.0004	-0.0004	1.0299
	gLCB26	19	Roof	4.5	0	-0.0346	-0.0346	1.0002
	gLCB19	19	Roof	4.5	0	-0.0001	-0.0001	1.0646
	Sismo en x(RS)	21	Roof	4.5	0	0.0001	0.0001	1.0081
	gLCB7	19	Roof	4.5	0	-0.0005	-0.0005	1.0231
	Sismo en Sx	19	Roof	4.5	0	-0.0001	-0.0001	1.0302

Fuente: Propia

Los valores que se indican negativos en la tabla, quieren decir que se está moviendo en el eje correspondiente, pero en su parte negativa, así que se pueden tomar como valor absoluto.

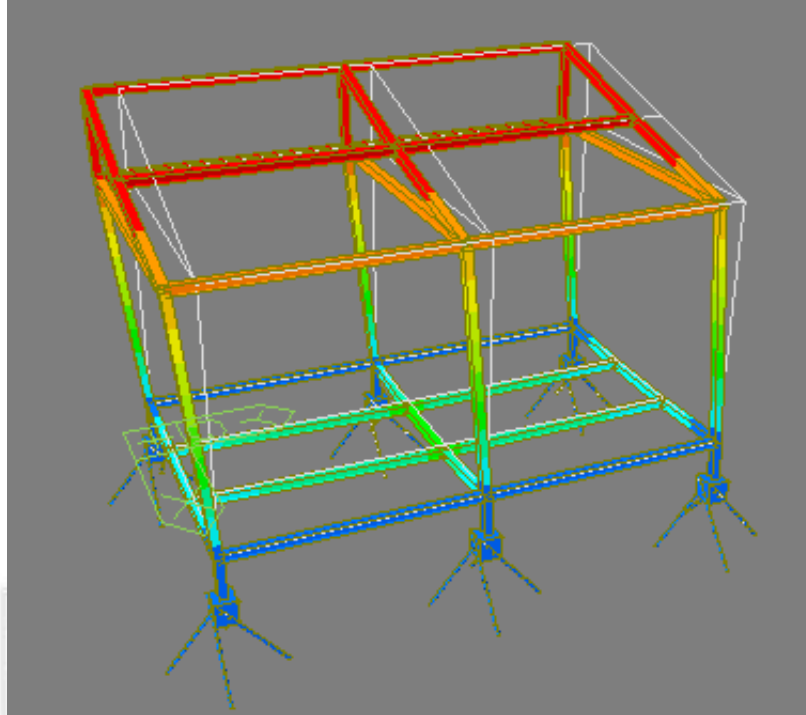


Figura 79. Caso de carga gICB9 desplazamientos en todas las direcciones

Fuente: Propia

Como se ve en la figura 79, la línea sombreada de color blanco, indica la posición inicial de los elementos, mientras que los contornos nos muestran los desplazamientos al evaluar las fuerzas, además los elementos más afectados por la carga.

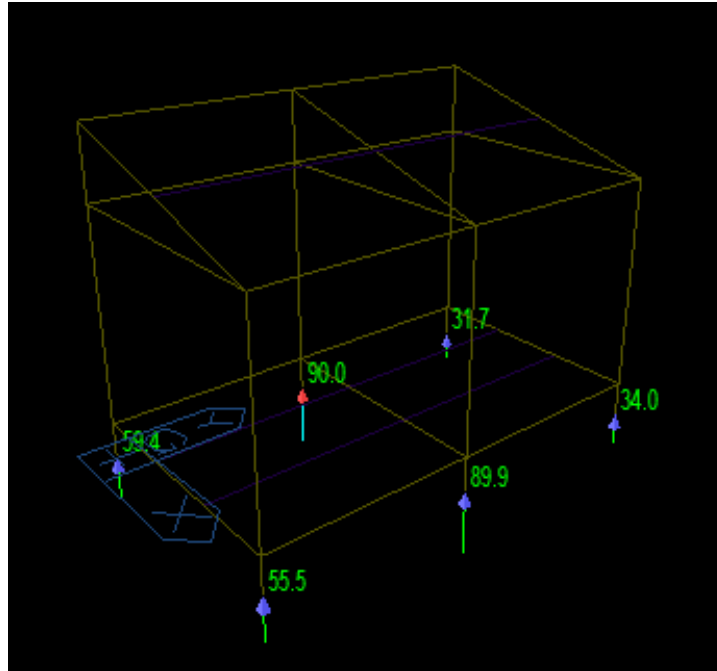


Figura 80. Caso de carga gICB10 fuerzas verticales en kN

Fuente: Propia

Para el caso de carga gICB10 se puede garantizar que cumple con la condición del fabricante en el que nos dice que la fuerza a compresión debe ser valores menores a los 100 kN.

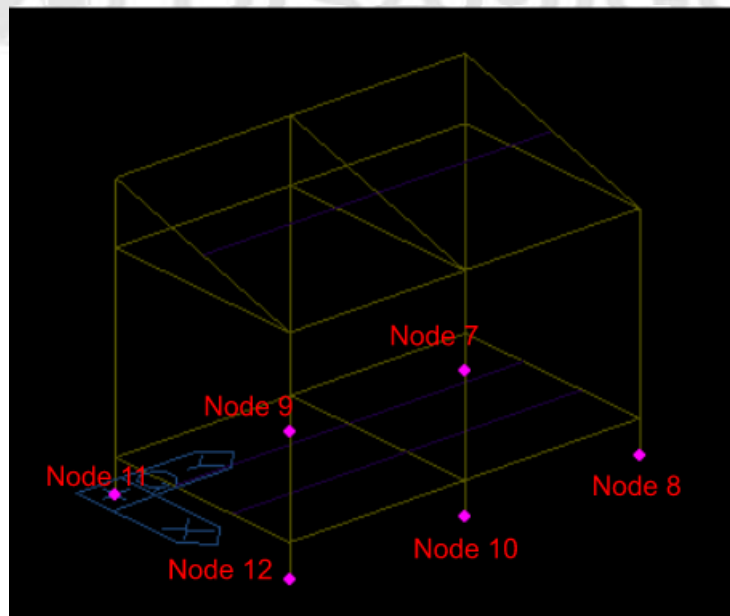


Figura 81. Nomenclatura de los nodos del Piloedre

Fuente: Propia

Tabla 25. Reacciones en los nodos del Piledre (desde la combinación de carga gLCB7 hasta la gLCB14)

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
7	gLCB7	29.966116	-0.351754	34.861374	0.054723	-5.360102	0
8	gLCB7	-52.231766	0.002238	55.518677	-0.000348	-13.709322	0
9	gLCB7	75.602618	0	76.495189	0	-0.724591	0
10	gLCB7	-86.826858	0	103.256198	0	-17.223306	0
11	gLCB7	29.966116	0.351754	34.861374	-0.054723	-5.360102	0
12	gLCB7	-52.231766	-0.002238	55.518677	0.000348	-13.709322	0
7	gLCB8	39.429583	-4.9649	59.405988	4.651776	3.683383	0.000189
8	gLCB8	-41.025324	-5.617898	55.463078	4.577379	-4.488795	0.000189
9	gLCB8	80.052342	-17.995522	89.977939	6.678982	8.251214	0.000189
10	gLCB8	-79.977737	-17.260918	89.92775	6.388713	-8.003782	0.000189
11	gLCB8	40.912207	-4.246083	31.694869	4.539947	4.717159	0.000189
12	gLCB8	-39.391071	-5.67022	34.041865	4.585519	-3.439617	0.000189
7	gLCB9	50.375674	-0.367064	56.239483	0.057105	13.760644	0
8	gLCB9	-28.184629	0.050084	33.986266	-0.007792	5.78091	0
9	gLCB9	84.502065	0	103.460689	0	17.227019	0
10	gLCB9	-73.128615	0	76.599301	0	1.215741	0
11	gLCB9	50.375674	0.367064	56.239483	-0.057105	13.760644	0
12	gLCB9	-28.184629	-0.050084	33.986266	0.007792	5.78091	0
7	gLCB10	40.912207	4.246083	31.694869	-4.539947	4.717159	-0.000189
8	gLCB10	-39.391071	5.67022	34.041865	-4.585519	-3.439617	-0.000189
9	gLCB10	80.052342	17.995522	89.977939	-6.678982	8.251214	-0.000189
10	gLCB10	-79.977737	17.260918	89.92775	-6.388713	-8.003782	-0.000189
11	gLCB10	39.429583	4.9649	59.405988	-4.651776	3.683383	-0.000189
12	gLCB10	-41.025324	5.617898	55.463078	-4.577379	-4.488795	-0.000189
7	gLCB11	44.263085	-0.354095	49.775362	0.056741	7.978287	0
8	gLCB11	-35.390316	0.042399	48.882108	-0.001544	-0.11027	0
9	gLCB11	82.113587	0	95.966563	0	11.673148	0
10	gLCB11	-77.508424	0	95.311882	0	-4.460164	0
11	gLCB11	44.263085	0.364722	49.775362	-0.055088	7.978287	0
12	gLCB11	-35.390316	-0.009923	48.882108	0.006596	-0.11027	0
7	gLCB12	40.448089	3.680314	51.080939	2.10724	4.440469	0.000092
8	gLCB12	-39.888858	4.194597	49.094728	2.034488	-3.718991	0.000092
9	gLCB12	80.052342	8.10817	89.977939	2.828592	8.251214	0.000092
10	gLCB12	-79.977737	7.835069	89.92775	2.720837	-8.003782	0.000092
11	gLCB12	40.448089	4.399132	51.080939	1.995412	4.440469	0.000092
12	gLCB12	-39.888858	4.142275	49.094728	2.042627	-3.718991	0.000092
7	gLCB13	36.078706	-0.364722	41.325495	0.055087	0.422254	0
8	gLCB13	-45.026079	0.009923	40.622835	-0.006596	-7.818142	0
9	gLCB13	77.991096	0	83.989316	0	4.829279	0
10	gLCB13	-82.447049	0	84.543617	0	-11.5474	0
11	gLCB13	36.078705	0.354095	41.325495	-0.056741	0.422254	0
12	gLCB13	-45.02608	-0.042399	40.622835	0.001544	-7.818142	0
7	gLCB14	39.893701	-4.399132	40.019918	-1.995412	3.960072	-0.000092
8	gLCB14	-40.527537	-4.142275	40.410215	-2.042627	-4.209421	-0.000092
9	gLCB14	80.052342	-8.10817	89.977939	-2.828592	8.251214	-0.000092
10	gLCB14	-79.977737	-7.835069	89.92775	-2.720837	-8.003782	-0.000092
11	gLCB14	39.893701	-3.680314	40.019918	-2.10724	3.960072	-0.000092
12	gLCB14	-40.527537	-4.194597	40.410215	-2.034488	-4.209421	-0.000092

Fuente: Propia

Tabla 26. Reacciones en los nodos del Piloedre (desde la combinación de carga gLCB19 hasta la gLCB26)

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
7	gLCB19	-6.043415	-0.232669	-0.85434	0.036197	-9.045909	0
8	gLCB19	-16.218503	-0.020947	20.035839	0.003259	-10.07944	0
9	gLCB19	3.711453	0	5.287239	0	-8.055062	0
10	gLCB19	-14.943157	0	32.000293	0	-9.949897	0
11	gLCB19	-6.043415	0.232669	-0.85434	-0.036197	-9.045909	0
12	gLCB19	-16.218503	0.020947	20.035839	-0.003259	-10.07944	0
7	gLCB20	3.420052	-4.845816	23.690274	4.633249	-0.002424	0.000189
8	gLCB20	-5.012061	-5.641083	19.98024	4.580986	-0.858913	0.000189
9	gLCB20	8.161176	-17.995522	18.769989	6.678982	0.920743	0.000189
10	gLCB20	-8.094036	-17.260918	18.671845	6.388713	-0.730374	0.000189
11	gLCB20	4.902676	-4.365168	-4.020845	4.558474	1.031352	0.000189
12	gLCB20	-3.377808	-5.647034	-1.440973	4.581912	0.190264	0.000189
7	gLCB21	14.366144	-0.247979	20.523769	0.038579	10.074837	0
8	gLCB21	7.828634	0.026899	-1.496571	-0.004185	9.410792	0
9	gLCB21	12.6109	0	32.252739	0	9.896548	0
10	gLCB21	-1.244915	0	5.343397	0	8.489149	0
11	gLCB21	14.366144	0.247979	20.523769	-0.038579	10.074837	0
12	gLCB21	7.828634	-0.026898	-1.496572	0.004185	9.410792	0
7	gLCB22	4.902676	4.365168	-4.020845	-4.558474	1.031352	-0.000189
8	gLCB22	-3.377808	5.647034	-1.440973	-4.581912	0.190264	-0.000189
9	gLCB22	8.161176	17.995522	18.769989	-6.678982	0.920743	-0.000189
10	gLCB22	-8.094036	17.260918	18.671845	-6.388713	-0.730374	-0.000189
11	gLCB22	3.420052	4.845816	23.690274	-4.633249	-0.002424	-0.000189
12	gLCB22	-5.012061	5.641083	19.98024	-4.580986	-0.858913	-0.000189
7	gLCB23	8.253554	-0.235011	14.059648	0.038214	4.29248	0
8	gLCB23	0.622947	0.019213	13.39927	0.002063	3.519612	0
9	gLCB23	10.222422	0	24.758613	0	4.342677	0
10	gLCB23	-5.624724	0	24.055977	0	2.813244	0
11	gLCB23	8.253554	0.245637	14.059648	-0.036561	4.29248	0
12	gLCB23	0.622947	0.013262	13.39927	0.002989	3.519612	0
7	gLCB24	4.438558	3.799399	15.365225	2.088714	0.754662	0.000092
8	gLCB24	-3.875595	4.171412	13.61189	2.038095	-0.089109	0.000092
9	gLCB24	8.161176	8.10817	18.769989	2.828592	0.920743	0.000092
10	gLCB24	-8.094036	7.835069	18.671845	2.720837	-0.730374	0.000092
11	gLCB24	4.438558	4.280047	15.365225	2.013939	0.754662	0.000092
12	gLCB24	-3.875595	4.16546	13.61189	2.03902	-0.089109	0.000092
7	gLCB25	0.069175	-0.245637	5.609781	0.036561	-3.263553	0
8	gLCB25	-9.012816	-0.013262	5.139997	-0.002989	-4.18826	0
9	gLCB25	6.099931	0	12.781365	0	-2.501191	0
10	gLCB25	-10.563348	0	13.287713	0	-4.273992	0
11	gLCB25	0.069175	0.235011	5.609781	-0.038214	-3.263553	0
12	gLCB25	-9.012816	-0.019213	5.139997	-0.002063	-4.18826	0
7	gLCB26	3.88417	-4.280047	4.304204	-2.013939	0.274265	-0.000092
8	gLCB26	-4.514274	-4.16546	4.927377	-2.03902	-0.57954	-0.000092
9	gLCB26	8.161176	-8.10817	18.769989	-2.828592	0.920743	-0.000092
10	gLCB26	-8.094036	-7.835069	18.671845	-2.720837	-0.730374	-0.000092
11	gLCB26	3.88417	-3.799399	4.304204	-2.088714	0.274265	-0.000092
12	gLCB26	-4.514274	-4.171412	4.927377	-2.038095	-0.57954	-0.000092

Fuente: Propia

De las tablas 25 y la 26 podemos deducir que el modelo estructural diseñados en MIDAS GEN, cumple para algunas combinaciones de carga las solicitaciones propuestas por el fabricante, en el que dice que la máxima fuerza a compresión es de 100 KN y que los momentos son menores o iguales a 6 KN*m, siguiendo la nomenclatura propuesta en las tablas en donde la Fz es la fuerza vertical o la fuerza a compresión, MX y My los momentos flectores. Por ejemplo, para la combinación de carga gICB 23, cumple con las condiciones del Piloedre.

Las conexiones que se realizaron en el software MIDAS DESIGN+, arrojaron resultados adecuados conforme a la guía de diseño 4 de la AISC (MIDAS & AISC, 2021), como se aprecia en la tabla 27 de resumen de cálculo para conexión viga columna denominada 2W4X13 (3)-10.

Tabla 27. Resumen de cálculo conexión viga columna 2W4X13 (3)-10

Category	Value	Criteria	Ratio	Note
Required girder stiffener thickness (mm)	-	-	-	-
Required girder stiffener length (mm)	-	-	-	-
Width - thickness ratio of Girder stiffener	-	-	-	-
No prying bolt moment strength (kN-m)	-27.00	31.85	0.848	
(2) End Plate				
Category	Value	Criteria	Ratio	Note
Required end plate thickness (mm)	11.48	16.00	0.718	
Shear yielding strength of end plate (kN)	-139	307	0.454	
Shear rupture strength of end plate (kN)	-139	229	0.607	
(3) High Tension Bolt				
Category	Value	Criteria	Ratio	Note
Shear rupture strength of compression bolts (kN)	-43.80	126	0.348	
Bolt bearing / tear out failure of end plate (kN)	-43.80	625	0.0700	
Bolt bearing / tear out failure of column flange (kN)	-43.80	342	0.128	
(4) Column Flange				
Category	Value	Criteria	Ratio	Note
Required thickness of column flange for flexural yielding (mm)	8.760	8.660	0.989	
(5) Stiffener				
Category	Value	Criteria	Ratio	Note
Strength of unstiffened column flange (kN)	-279	280	0.995	
Local web yielding strength (kN)	-279	371	0.751	
Web buckling strength (kN)	-279	665	0.419	
Web crippling strength (kN)	-279	446	0.624	

Fuente: Propia

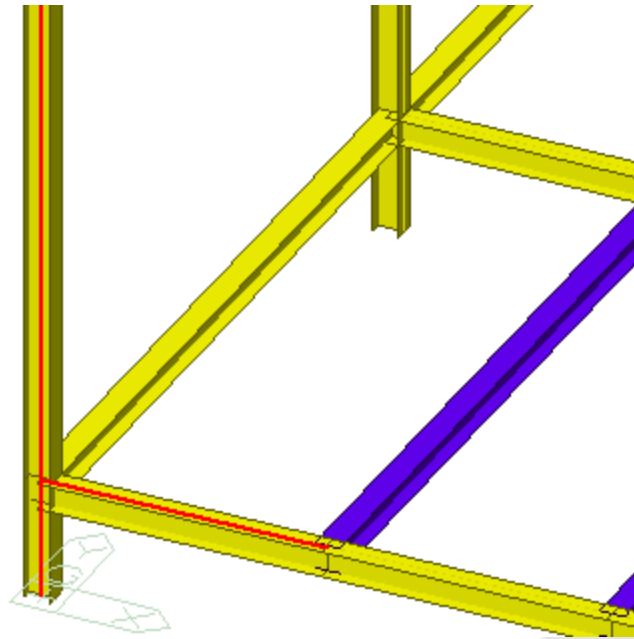


Figura 82. Conexión viga columna 2W4X13 (3)-10

Fuente: Propia

Del mismo modo, las conexiones simples, viga a nervio, arrojaron resultados adecuados conforme a los parámetros de diseño de la AISC, como se ve en la tabla 28 de resultados de cálculo para la conexión entre viga y nervio, denominada por el programa como, 2W4X13 NERV (43).

Tabla 28. Resumen de cálculo conexión viga nervio 2W4X13 NERV (43)

7. Check Web (Friction Bolt)

(1) Design Force & Property

M_u	V_u	I_b	C_x	C_y
0.0300kN-m	0.400kN	1,800mm ²	0.000mm	30.00mm

(2) Check High-Tension Bolt

N_{bolt}	P_u	R_u	R_{max}	R_{avg}	R_{max}	$R_{max} / \phi R_n$
2EA	31.09kN	0.200kN	0.000kN	0.500kN	0.700kN	0.0225

(3) Check Plate

ϕP_n	$P_u / \phi P_n$	ϕM_n	$M_u / \phi M_n$	ϕV_n	$V_u / \phi V_n$
-	-	3.421kN-m	0.00877	96.45kN	0.00415

8. Check Bearing Strength of Bolt (Web, Shear)

(1) Calculate Bearing Strength of Bolt

General (mm)			Section (kN)			Plate (kN)		
SN	x	y	L_c	R_n	$R_{n,MAX}$	L_c	R_n	$R_{n,MAX}$
01	0.000	40.00	27.86	116	116	27.86	147	147
02	0.000	100	27.86	116	116	27.86	147	147

(2) Check Bearing Strength

V_u	$\phi R_{n,SEC}$	$\phi R_{n,PL}$	ϕR_n	$V_u / \phi R_n$
0.400kN	174kN	220kN	174kN	0.00230

9. Check Bearing Strength of Bolt (Web, Tension)

(1) Calculate Bearing Strength of Bolt

General (mm)			Section (kN)			Plate (kN)		
SN	x	y	L_c	R_n	$R_{n,MAX}$	L_c	R_n	$R_{n,MAX}$
01	0.000	40.00	32.86	116	116	32.86	147	147
02	0.000	100	45.71	116	116	45.71	147	147

(2) Check Bearing Strength

P_u	$\phi R_{n,SEC}$	$\phi R_{n,PL}$	ϕR_n	$P_u / \phi R_n$
0.000kN	174kN	220kN	174kN	0.000

Fuente: Propia

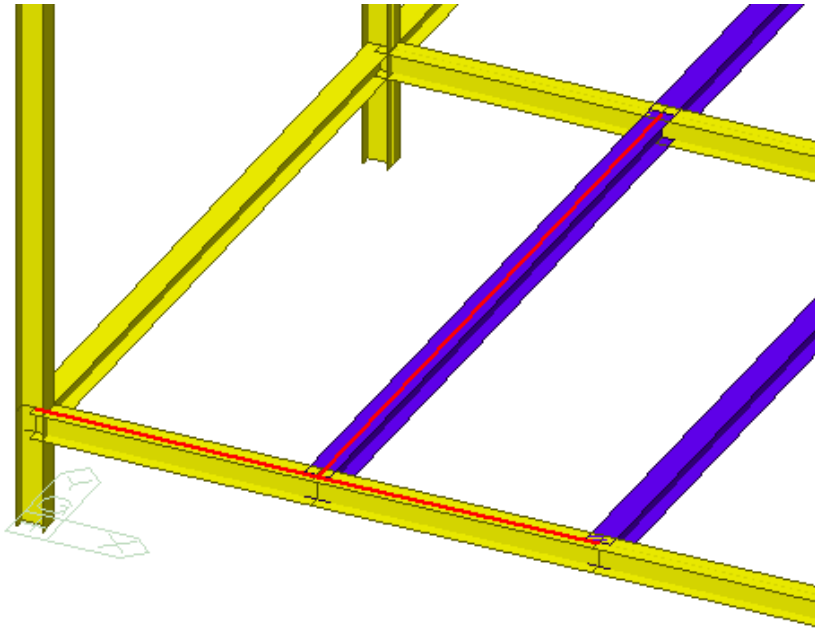


Figura 83. Conexión viga NERVIO 2W4X13 NERV (43)

Fuente: Propia

CONCLUSIONES

- Como resultado de esta investigación, se concluye que la implementación de cimentaciones tipo Piloedre es factible de acuerdo con la NSR-10, además, utilizando este tipo de cimentaciones se genera una mínima afectación al entorno, ya que desde su instalación únicamente se requiere de una pequeña excavación de material.
- Se define un modelo estructural tipo bodega de pórtico en acero, utilizando como alternativa de cimentación al Piloedre, destacando así, que dicha cimentación se comporta de manera adecuada, permitiendo una correcta transmisión de cargas al terreno.
- Se logra garantizar que la estructura es enteramente reutilizable, ya que se diseñó con conexiones a momentos pernadas, para facilitar la instalación y desinstalación según se requiera. Debido a que es una estructura ligera, presenta una gran ventaja, puesto que se necesitan pocos materiales y se permite la utilización de elementos prefabricados para cimentaciones como es el caso del Piloedre.
- El Piloedre como alternativa de cimentación asegura que se puede reutilizar debido a que presenta distintas ventajas por ser un elemento prefabricado, fácil de transportar e instalar y desmontar cuando se requiera.
- Se realizó una adecuada evaluación estructural de un sistema mano portable de pórticos resistentes a momentos, cumpliendo en su totalidad con lineamientos de la NSR-10, utilizando como alternativa de cimentación el Piloedre.
- Debido a que el Piloedre es un tipo de cimentación diseñado y construido en España, no contempla resistencia a esfuerzos por sismo, por lo que además la resistencia del Piloedre dependerá del tipo suelo en el que se instale.
- La estructura es sismo resistente, ya que se validó bajo los parámetros de la NSR-10 con la metodología de la fuerza horizontal equivalente y en la cual las derivas cumplen para algunas combinaciones de carga a las que se puede diseñar.
- Para algunos casos de carga la fuerza a compresión o vertical que llega al Piloedre, cumple con las especificaciones que establece el fabricante. Como los son las combinaciones gICB8, gICB10, gICB11, gICB12, gICB13, gICB14 y el resto de combinaciones de carga de la gICB19 hasta la gICB26.

- Sobre el suelo podemos decir que para la capacidad portante es bastante elevada en comparación con los esfuerzos a compresión de la estructura, es decir, es bastante resistente para soportar la estructura de la bodega, además la capacidad del Piloedre depende estrictamente del terreno en el cuál esté instalado.



BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- Adrián, Yirda. 2022. “¿Qué es Concreto? » Su Definición y Significado [2022]”. 2022.
<https://conceptodefinicion.de/concreto/>.
- Alicaresp. 2018. “Conceptos básicos cimentación - ingeniería civil”. 2018.
<http://alicaresp.com/2018/12/21/conceptos-basicos-cimentacion/>.
- Arcus global. 2017. “Zapatatas ¿qué son y cómo se clasifican? | Arcus Global”. 2017.
<https://www.arcus-global.com/wp/zapatatas-que-son-y-como-se-clasifican/>.
- Arias, Enrique Rus. 2022. “Viabilidad”. Economipedia. 2022.
<https://economipedia.com/definiciones/viabilidad.html>.
- Becosan. 2020. “Concreto prefabricado | ¿Qué es? | BECOSAN®”. 2020.
<https://www.becosan.com/es/concreto-prefabricado/>.
- Como funciona que. 2022. “¿Qué es el método? Definición, características y funcionamiento - Como Funciona Que”. 2022. <https://comofuncionaque.com/que-es-el-concreto-armado-y-para-que-sirve/>.
- Cueva del civil. 2018. “Concepto de Fundaciones, clasificación y tipos de fundaciones”. 2018.
<https://www.cuevadelcivil.com/2010/12/fundaciones.html>.
- Diccionario, Reverso. 2022. “Definición pudor | Diccionario definiciones | Reverso”. 2022.
<https://diccionario.reverso.net/espanol-definiciones/reutilizable>.
- Echeverry, Verónica. 2022. “Agregados reciclados: ¿Qué y para qué? | ARGOS 360”. 2022.
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-reciclados-que-y-para-que>.
- Fine software. 2022. “Losa de Cimentación | Cimentaciones Superficiales | Fine”. 2022.
<https://www.finesoftware.es/software-geotecnico/soluciones/cimentaciones-superficiales/losa-de-cimentacion/>.
- Gerdau Corsa. 2020. “¿Qué son las estructuras de acero?” GC. 2020.
<https://www.techosyestructurasmetalicas.com.mx/blog/articles/que-son-las-estructuras-ligeras-de-metal->.
- ICG.CAT. 2022. “Concepto suelo. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya”. 2022.
<https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Suelos/Concepto-suelo>.
- Ing. Coral M. 2019. “Cimentaciones profundas : Posada Perú”. 2019.
<https://posada.pe/cimentaciones-profundas/>.
- Ingeniería y construcción. 2020. “Servicios de cimentación de estructuras metálicas - Montajes, Ingeniería y Construcción. MIC SAS. Bogotá, Colombia”. 2020.
<https://www.estructurasmetalicascolombia.com/anclajes-y-fijaciones/cimientos-para-construcciones-de-acero>.

Penagos Congote, Javier Emilio, y Rave Arango José Fernando. 2017. "Guía De Diseño De Cimentaciones Superficiales Prefabricadas Para Edificaciones Javier Emilio Penagos Congote".

Westreicher, Guillermo. 2021. "Prefabricado - Qué es, definición y concepto | 2022 I.

Asociación Española para la Calidad (AEC). (2022). *AEC - Normas ASTM*.
<https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>

ASTM. (2022). *Designation: A 913/A913M-01 Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Steel Shapes of Structural Quality, Produced by Quenching and Self-Tempering Process (QST) 1*.

Autodesk Latinoamérica. (2022). *Software AutoCAD | Autodesk*. latinoamerica.autodesk.com

Carrillo Herrero, C., Claramunt, R. C., Candela, A., & Herrero, C. (2018). *CÁLCULO DE PILOTES SOMETIDOS A CARGAS LATERALES. APLICACIÓN A CIMENTACIONES PARA POSTES FERROVIARIOS*.

Congreso de Colombia. (2012). *Ley_1523_de_2012*.

Construmatica. (2022). *Resistencia Mecánica - Construmatica*.
https://www.construmatica.com/construpedia/Resistencia_Mec%C3%A1nica

docsity. (2019). *NORMA AISC y criterios para el diseño, fabricación y el montaje de edificios de acero estructural y otras estructuras | Docsity*. [docsity.com](https://www.docsity.com)

Equipo editorial Etecé. (2021). *Estructura - Concepto y acepciones*.
<https://concepto.de/estructura/>

Estructuras metálicas Colombia. (2022). *Diseño y montaje de pórticos con estructura metálica - Montajes, Ingeniería y Construcción*. MIC SAS. Bogotá, Colombia.
<https://www.estructurasmetalicascolombia.com/construcciones-metalicas/porticos/construccion-de-porticos>

ITeC. (2017). *Documento de adecuación al uso*. www.piloedre.es

Marchante, A. (2022). *AutoCAD: ¿cuáles son las características del software? - 3Dnatives*.
<https://www.3dnatives.com/es/autocad-cuales-caracteristicas-del-software-020420202/>

Mendoza, O. M. (2022). *Espectro NSR-10 | civilmao*. <https://civilmao.wordpress.com/espectro-nsr10/>

MIDAS, & AISC. (2021). *Guía para conexiones a momento con Design +*.

Midasoft. (2022). *Midasoft*.
<https://www.midasoft.com/es/latinoamerica/productos/ingenieriaestructural/midasdesign>

Piloedre. (2017). *FICHA TÉCNICA PILOEDRE La cimentación prefabricada, fácil de montar y recuperable*.

Rosas Alaguero, J. J. (2016). *Manual de instalación, desinstalación y reutilización del PILOEDRE*.

Rus Arias, E. (2022). *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/viabilidad.html>

Torres, V. Y., Ramírez, Y. M., & López, D. D. (2021). Sostenibilidad ambiental en la minería de materiales aluviales: el caso de Rio Negro, Dibulla, Colombia. *Información Tecnológica*, 32(6), 85–92. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000600085>

UNESID. (2022). *UNESID*. <https://unesid.org/que-es-el-acero/>

Zuloaga, I. (2020). *Piloedre | Diccionario*. <https://www.diccionario.geotecnia.online/piloedre/>

MIDAS (2021), Integrated design systems for buildings and general structures, MIDAS Design + v.1.1, Midas Information Technology Co. Ltd.

AISC (2010), Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications, ANSI/AISC 358-10, Chicago, IL.

