

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE
UNA CASA MODELO ECO-DOMO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil



Autor:

Arik Jhonatan Alcantara Arce

Asesor:

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

Cajamarca - Perú

2019

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno , docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis del estudiante:

- Alcantara Arce Arik Jhonatan

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA MODELO ECO-DOMO” para aspirar al título profesional de: *Ingeniero Civil* por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Dr. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante: Arik Jhonatan Alcantara Arce para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA MODELO ECO-DOMO”

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Dr./Ing. Orlando Aguilar Aliaga
Jurado
Presidente

Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
Jurado

Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento
Jurado

DEDICATORIA

A mis padres Santos Martín y María Lucila que
me apoyaron en todo y creyeron en mí.
A mis hermanos que me exigieron hasta el final
para culminar lo más pronto posible la tesis.
A los docentes y compañeros que fueron guías
en el periodo que estuve de universitario.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y la oportunidad de cumplir el mayor de mis deseos ser un ingeniero civil, a mis padres y hermanos por confiar y darme la mano en todo momento.
Al director y docentes de la carrera de Ingeniería Civil que me brindaron consejos y conocimientos durante los cinco años de universitario.

TABLA DE CONTENIDOS

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE GRÁFICAS	13
RESUMEN	14
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema	36
1.3. Objetivos.....	37
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	37
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	37
1.4. Hipótesis	37
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	38
3.1. Tipo de investigación.....	38
3.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	38
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	38
3.4. Procedimiento	39
3.4.1. <i>Recolección de datos</i>	39
3.4.2. <i>Análisis de datos</i>	48
CAPÍTULO III. RESULTADOS	60
3.1. Comportamiento estructural de casa modelo Eco-domo.....	60

3.1.1.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado.....</i>	60
3.1.1.1.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 1.....</i>	60
3.1.1.2.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 2.....</i>	65
3.1.1.3.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 3.....</i>	70
3.1.1.4.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 4.....</i>	75
3.1.2.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero.....</i>	80
3.1.2.1.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 1.....</i>	80
3.1.2.2.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 2.....</i>	85
3.1.2.3.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 3.....</i>	90
3.1.2.4.	<i>Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 4.....</i>	95
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		100
5.1.	Discusión.....	100
5.1.1.	<i>Diseño Arquitectónico.....</i>	100
5.1.2.	<i>Comportamiento estructural.....</i>	100
5.2.	Conclusiones.....	107
REFERENCIAS		109
ANEXOS		110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factor de suelo (S) para edificaciones de tierra reforzada.....	32
Tabla 2: Coeficiente sísmico por zona sísmica para edificaciones de tierra reforzada.....	33
Tabla 3: Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación para edificaciones de tierra reforzada.	33
Tabla 4: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	38
Tabla 5: Metrado de Cargas.	49
Tabla 6: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 1.....	60
Tabla 7: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 1.....	62
Tabla 8: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 1.	63
Tabla 9: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 2.....	65
Tabla 10: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 2.....	67
Tabla 11: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 2.	68
Tabla 12: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 3.....	70
Tabla 13: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 3.....	72
Tabla 14: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 3.	73
Tabla 15: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 4.....	75
Tabla 16: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 4.....	77
Tabla 17: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 4.	78
Tabla 18: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 1.	80
Tabla 19: Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 1.....	82
Tabla 20: Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 1.....	83
Tabla 21: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 2.	85
Tabla 22: Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 2.....	87
Tabla 23: Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 2.....	88
Tabla 24: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 3.	90
Tabla 25: Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 3.....	92
Tabla 26: Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 3.	93
Tabla 27: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 4.	95
Tabla 28: Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 4.....	97
Tabla 29: Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 4.....	98

Tabla 30: Comparación de resultados de desplazamientos en modelos de Eco-domo.	101
Tabla 32: Proceso de metrado de cargas.....	110
Tabla 31: Operacionalización de variables.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas Sísmicas del Perú.	17
Figura 2: Fuerza resultante en el arranque de bóveda y cúpula (izq.). Regla del medio tercio para el diseño y cálculo de bóvedas y cúpulas (Der.).....	26
Figura 3: Arco ojival equilátero.	28
Figura 4: Arco ojival apuntado.....	29
Figura 5: Cálculo de tensiones por el MEF.	30
Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica.....	32
Figura 7: Configuración de unidades en AutoCAD	39
Figura 8: Creación de una capa de trabajo.....	40
Figura 9: Trazo de líneas: central (diámetro) y extremos (ancho de muro).....	40
Figura 10: Trazo de círculos desde los extremos de los anchos de muro hacia los extremos del diámetro interior del domo.....	41
Figura 11: Borrado de líneas innecesarias para obtener el domo en altura.....	42
Figura 12: Trazo de línea paralela a la cara interna del muro para hacer el diseño en 3D e importar a Sap2000.	43
Figura 13: Rotación del modelo para que se encuentre en sentido vertical.	43
Figura 14: Número de divisiones (gajos) de 20°.	44
Figura 15: Número de divisiones en altura (en función a altura del domo/altura de hilada de superadobe). .	44
Figura 16: Creación de superficie.....	45
Figura 17: Selección del objeto de revolución y del eje de revolución.	45
Figura 18: Superficie del Eco-domo revolucionada 360°.....	46
Figura 19: Movimiento y haciendo coincidir el origen de coordenadas con el centro de la base del Eco-domo.	46
Figura 20: Explotación de la superficie del Eco-domo.....	47
Figura 21: Archivo tipo Dxf. para que sea importado desde Sap2000.	47
Figura 22: Modelo de inicialización en Sap 2000	50
Figura 23: Importación de AutoCAD a Sap 2000.	51
Figura 24: Elección de eje de importación.	51
Figura 25: Elección de línea de importación.	52

Figura 26: Definición de materiales.	52
Figura 27: Definición de propiedades de materiales.	53
Figura 28: Definición de sección de materiales.....	53
Figura 29: Definición de sección de materiales tipo Shell.	54
Figura 30: Definición de sección de materiales tipo Shell y tipo de material.....	54
Figura 31: Asignación del tipo de sección al domo.	55
Figura 32: Asignación del tipo de sección al domo.	55
Figura 33: Asignación del tipo de tipo de apoyo.	56
Figura 34: Asignación de cargas.	56
Figura 35: Asignación de cargas.	57
Figura 36: Asignación de masas según el tipo de edificación.	57
Figura 37: Definición de cargas.....	58
Figura 38: Coeficiente de cortante en la base.	58
Figura 39: Primera combinación de cargas.	59
Figura 40: Segunda combinación de cargas.	59
Figura 41: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo apuntado 1.....	60
Figura 42: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo apuntado 1.....	61
Figura 43: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo apuntado 1.	61
Figura 44: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo apuntado 2.....	65
Figura 45: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo apuntado 2.....	66
Figura 46: Esfuerzos meridionales (S11) y perimetrales (S22)en el Eco-domo apuntado 2.	66
Figura 47: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo apuntado 3.....	70
Figura 48: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo apuntado 3.....	71
Figura 49: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo apuntado 3.	71
Figura 50: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo 4.	75
Figura 51: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo apuntado 4.....	76
Figura 52: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo apuntado 4.	76
Figura 53: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 1.	80
Figura 54: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo equilátero 1.	81
Figura 55: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo equilátero 1.	81

Figura 56: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 2.	85
Figura 57: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo ojival equilátero 2.	86
Figura 58: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo equilátero 2.	86
Figura 59: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 3.	90
Figura 60: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo ojival equilátero 3.	91
Figura 61: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo ojival equilátero 3.	91
Figura 62: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 4.	95
Figura 63: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo ojival equilátero 4.	96
Figura 64: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo equilátero 4.	96

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 1. .	64
Gráfica 2: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 1.	64
Gráfica 3: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 2. .	69
Gráfica 4: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 2.	69
Gráfica 5: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 3. .	74
Gráfica 6: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 3.	74
Gráfica 7: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 4. .	79
Gráfica 8: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 4.	79
Gráfica 9: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival equilátero 1.	84
Gráfica 10: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival equilátero 1.....	84
Gráfica 11: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival equilátero 2.	89
Gráfica 12: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival equilátero 2.....	89
Gráfica 13: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival equilátero 3.	94
Gráfica 14: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival equilátero 3.....	94
Gráfica 15: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival equilátero 4.	99
Gráfica 16: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival equilátero 4.....	99

RESUMEN

Las viviendas en el Perú, el 23.27% son de adobe y en Cajamarca el 51.86% según INEI (2018), además según el área de Catastro de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, estas construcciones no cuentan con asesoramiento técnico ya que no se encuentra permisos de licencia de construcción, es por ello que se investigó el comportamiento estructural del modelo de casa “Eco-domo”, creada por Nader Khalili, considerando el tipo de diseño arquitectónico: arco ojival apuntado y arco ojival equilátero. Para ello se hizo el diseño de ocho casas con diferente diámetro y ancho de muro para ambos tipos de diseño, luego se modeló y analizó el comportamiento estructural en Sap2000 Versión Educacional, frente a deformaciones, fuerzas y esfuerzos internos. En los modelos se obtuvo que, en tres de ambos tipos el desplazamiento mayor a un centímetro se da en la coronación del domo y el menor a un centímetro en las primeras hiladas, además el arco ojival apuntado presenta hasta en un 9.138% mayor en deformaciones frente al arco ojival equilátero. Y para las fuerzas y esfuerzos en ambos tipos de diseño, aumentan su valor en altura cambiando de compresión a tracción o viceversa, presentado los valores más conservadores los diseñados con arco ojival apuntado. Por lo tanto, se cumple parcialmente la hipótesis.

Palabras clave: Eco-domo, diseño, comportamiento estructural.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según Barrionuevo (2010) en el Perú está en constante crecimiento la necesidad de vivienda, especialmente para las familias de pobreza extrema; aparte de la ocurrencia de sismos, ya que el Perú se encuentra en el cinturón de fuego, y deterioro del medio ambiente. Por este motivo se busca nuevas soluciones que tengan calidad, sean accesibles y ecológicas.

A pesar de los esfuerzos empleados por el gobierno en programas como Fondo Mi Vivienda, estos no llegan a las familias que se encuentran en extrema pobreza. Pues según el INEI (2018) en los resultados del censo del año 2017, el 11.2% de las familias a nivel nacional tienen déficit habitacional, presentando el mayor porcentaje en el área rural con un déficit habitacional de 19.5%, mientras que en el área urbana presenta el 8.7%.

Barrionuevo (2010) nos afirma que por iniciativa popular las familias intentan resolver este problema al construir un espacio donde poder vivir, aunque con peligrosas deficiencias técnicas y de seguridad. Estas viviendas que carecen de una dirección técnica son al principio de forma rudimentaria, utilizando esteras, madera o tierra, ya sea en la ciudad o en el campo.

La falta de vivienda se acrecienta por las características climáticas y ecológicas existentes en el Perú, distintas en toda su extensión debido a la geografía que presenta, ocurrencia frecuente de sismos mayormente en la zona de la costa, la mayoría de veces severos, vientos fuertes, aluviones, sequías, lluvias torrenciales, entre otros desastres; diversidad cultural, así como problemas sociales y económicos; toda esta realidad incide fuertemente en la tarea de construir en el Perú y en las tecnologías que hay por utilizar.

De acuerdo al INEI (2018), el porcentaje de las viviendas particulares según el material predominante en las paredes exteriores y área de residencia hasta el año 2017 a nivel nacional respecto al material predominante adobe y tapial son 23.27% y 4.63% respectivamente frente a ladrillo o bloque de cemento con 55.83%, y en el departamento de Cajamarca respecto al material predominante adobe y tapial son 51.86% y 18.40% respectivamente frente a ladrillo o bloque de cemento con 22.14%, esto nos indica que predomina el uso de adobe como material principal en las construcciones.

Sin embargo, Velarde (2014) nos dice que tradicionalmente es aceptado que las viviendas de adobe sin refuerzo son vulnerables a los sismos debido a su gran masa, por tener deficiencia en sus conexiones y por la falta de continuidad de muros, a pesar de ello, esta es una solución por la que la mayoría de los pobladores de zonas rurales han optado con el pasar de los años. Aunque los pobladores están optando por construir con material noble todavía se siguen utilizando estas viviendas de adobe.

De acuerdo a los registros como de terremotos recientes en Haití, Chile, Indonesia (2010), y Japón, Turquía (2011) nos han mostrado lo susceptibles que son las estructuras y el riesgo en el que se encuentran las personas que viven en zonas sísmicas. En el Perú, el terremoto de Huaraz (1970) tuvo como consecuencia la pérdida de 70,000 personas y en el terremoto de Ica (2007) hubo 596 muertos (INDECI, 2008) y 48,208 viviendas destruidas. Los mayores daños se presentaron en edificaciones de adobe. (Quispe Acosta & Rondón Durand, 2012), se puede concluir que la actividad sísmica ha cobrado sus mayores víctimas en las viviendas de adobe y tapial, pues estas

viviendas han demostrado tener una alta vulnerabilidad frente a eventos sísmicos inclusive de moderada intensidad (Gutiérrez, Manco, Loaiza, & Blondet, 2003)

La norma E.030 indica que el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas (ver fig. 1) y la zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica.



Figura 1: Zonas Sísmicas del Perú.

Fuente: Norma E.030

En la norma E.080 de Diseño y construcción con tierra reforzada, especifica que las edificaciones de tierra reforzada no deben estar ubicadas en zonas de alto riesgo de desastre, especialmente con peligros tales como: inundaciones, avalanchas, aluviones y huaycos. No se debe construir en suelos con inestabilidad geológica. Deben ser de un piso en las zonas sísmicas 4 y 3, y hasta de dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1, según los distritos y provincias establecidos en el Anexo N° 1 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente sobre Zonificaciones Sísmicas, su diseño estructural debe estar basado en los criterios de resistencia, estabilidad y comportamiento sismorresistente (refuerzos compatibles) y es respaldado por el profesional responsable. Así mismo, los métodos de análisis deben estar basados en comportamientos elásticos del material, sin perjuicio que se puedan utilizar criterios de comportamiento inelástico.

Por otro lado, el instituto de California del Arte de la Tierra ha desarrollado la técnica constructiva llamada “Earth-bag building” o “Superadobe” que consiste en utilizar sacos llenos de tierra del lugar donde se construye, superpuestos entre sí por medio de alambre de púas formando estructuras de tipo cúpulas y bóvedas y se caracteriza por ser ecológica, resistente ante sismos, térmicamente eficientes, mayor durabilidad, corto plazo de ejecución y costos reducidos (CalEarth, s.f.).

En suma, Barrionuevo (2010) nos dice que hay experiencia acumulada, en investigaciones tecnológicas aplicadas a la vivienda y la construcción, tanto urbana como rural, que involucran no sólo materiales y tecnologías, sino también el diseño arquitectónico, incorporando aspectos ecológicos, bioclimáticos y socioculturales. Los resultados de aplicación, a pequeña escala, son exitosos, pero quedan sólo en lo

anecdótico porque no hay una aplicación masiva. Hay barreras que vencer y es el reto que debe ser asumido.

Por este motivo, se escogió investigar esta técnica constructiva “Earth-bag building” o Eco-domo, al realizar el diseño de casas de este modelo y evaluar su comportamiento estructural, presentando los resultados obtenidos como beneficio y alternativa a las técnicas constructivas utilizadas hoy en día.

Así mismo, se tienen investigaciones que ayudan en la presente investigación, por ejemplo, en el ámbito internacional, Bryce Callaghan (2008), en su tesis Earthbag housing: structural behaviour and applicability in developing countries, demuestra que la técnica en este caso Eco-domo es totalmente válida para resistir las cargas verticales con una gran variedad de tipo de tierra. Para los esfuerzos horizontales, (generados por ejemplo por los sismos o el viento).

También, Croff, (2011) en su investigación Structural Resistance of Earthbag Housing Subject to Horizontal Loading, investigó por un lado la resistencia al pandeo y la resistencia al corte de las paredes de superadobe. Para ese último, indica que “el alambre de púas [colocado entre cada hilada de sacos] “demostró ser un vínculo de cizallamiento suficiente para evitar la rotura por deslizamiento de las bolsas.” También tuvo resultados satisfactorios con barras de refuerzo colocadas verticalmente en el eje de la pared. La posibilidad de construir en zonas sísmicas utilizando el alambre de púas ha sido reforzada por el estudio sobre las fuerzas de fricción y tensión de los componentes de “superadobe” que según Patti Stouter, Wycliffe Associates &

EarthBagStructures, 2010 concluye que el alambre de púas permite niveles de fricción suficientes para aguantar los empujes sísmicos.

No existen ensayos de edificaciones completas, pero existen ejemplos que demuestran que la técnica del superadobe representa una alternativa constructiva totalmente válida en zonas sísmicas. Un referente de ello es el proyecto desarrollado por Small Earth (Small Earth, 2013), ubicado en el Nepal, que resistió al terremoto de magnitud 7.8 del 25 de abril de 2015. Los únicos daños constatados fueron la rotura de los vidrios y la figuración reparable de la capa de revestimiento

Además, Canadell Ruiz, (2014) en su investigación Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe, desarrolló bases de cálculo para realizar comprobaciones estructurales con fundamentos teóricos, así como una herramienta de cálculo para verificar las comprobaciones de seguridad estructural. Estudió el comportamiento de cúpulas con distintas curvaturas en altura proponiendo un método de cálculo adecuado para las características de las estructuras de earthbag, y los resultados los comparó con otras teorías de cálculo como: estática gráfica, teoría de la membrana y método de elementos finitos en domos de superadobe. En su investigación por el método de elementos finitos utilizó el software Sap2000 dibujando la curva de un arco ojival apuntado en AutoCAD y lo exportó a Sap2000 donde generó la superficie con la revolución de la curva alrededor del eje vertical. Discretizó un domo de 4 metros de diámetro, en 20 divisiones en altura y 18 gajos de 20° cada uno. A continuación, definió un espesor constante de 0,3 de material con las características mecánicas de compresión del adobe y nula a tracción. Utilizó elementos tipo Shell thick y con una condición de apoyo libre con el suelo.

En los resultados de su modelación observó que las deformaciones son crecientes en altura y constante a lo largo de los paralelos. El valor máximo resulta de 15.5 mm en coronación y el mínimo es de 5 mm y corresponde a los elementos que representan la primera hilada. Además, observó que la fuerza meridional es bastante lineal y de compresión en todas las hiladas. Empezando con un valor de -1,15 kN en el elemento superior y alcanzando los 15,57 kN al pie. La tensión en los meridianos también muestra una tendencia muy parecida a la fuerza meridional siendo de -5,36 kPa en el punto superior de la cúpula, y de -51,93 kPa en los elementos inferiores. A pesar de que ésta tensión viene condicionada por la fuerza meridional, también lo está por la flexión, pero al ser los momentos tan pequeños, apenas se aprecia la influencia de éstos.

Por otra parte, la fuerza perimetral presentó un máximo de compresión de -3,44 kN a una altura 3'05 m y de -1,76 kN en coronación. A una altura 1,82m la fuerza en los paralelos pasa a ser de tracción, valiendo 8,51 kN en el pie del domo. En cuanto a las tensiones, los anillos hasta la altura de 2 m están sometidos a tracción alcanzando un valor de 28,47 kPa en la base. El máximo de compresión es de -9,35 kPa y se da en la altura de 3,33m mientras que en coronación la tensión es de -8,59 kPa.

En el ámbito nacional Barnet & Jabrane (2015) en su investigación de ECO-DOMO una propuesta para protegerse de las heladas en las comunidades rurales, evaluó la factibilidad del proyecto de ECO-DOMO y el método utilizado fue construir un modelo a escala 1/1 del diseño realizado, registrando cada etapa del proceso constructivo y analizando el resultado final de forma cualitativa y cuantitativa al concluir que el costo para construir una casa modelo ECO-DOMO es de 3000 soles en materiales y de mano de obra 10400 soles lo que afirma que económicamente es

factible y asequible a la población en general y por otro lado que permite la autoconstrucción.

Además, Pimentel (2017) en su investigación “Resistencia a compresión uniaxial en unidades de superadobe y adobe compactado, realizo estudios a suelos obtenidos de la cantera Cruz Blanca de la ciudad de Cajamarca, con los cuales elaboró 20 especímenes para cada tipo de adobe. Estos fueron ensayados en la máquina de compresión para obtener su valor promedio en cuanto a la resistencia uniaxial a compresión. Obtuvo resultados alentadores ya que ambos tipos de especímenes demostraron un incremento en la resistencia de 7.89% para el adobe compactado y de 45.58% para el superadobe al compararlos con los adobes tradicionales.

Es necesario conocer definiciones y términos que nos ayudan en el desarrollo de esta investigación, así tenemos:

La casa Eco-domo, su sistema de construcción consiste en una técnica llamada “Superadobe” en la que se utilizan sacos llenos de tierra del lugar donde se construye, superpuestos entre sí por medio de alambre de espino formando estructuras de tipo cúpulas y bóvedas (CalEarth, s.f.), y según Canadell Ruiz (2014) esta técnica se basa introducir tierra en sacos de polipropileno que conforman hiladas y se apilan ordenadamente para generar espacios cerrados. Se puede construir con sacos individuales, que se van llenando uno a uno en un espacio determinado y después se colocan uno al lado del otro. También existe la posibilidad de construir con saco continuo, en forma tubular. Ésta, permite avanzar más rápidamente ya que se ejecutan menos cierres de saco y la fase de llenado y colocación se producen simultáneamente. Además, Trigo Salas (2015) dice que este método de construcción está basado en los

principios de la arquitectura tradicional, como la geometría del arco, combinado con materiales y tecnología actual, que ofrece gracias a la forma geométrica de diseño edificaciones auto resistentes, integradas y respetuosas con el medio ambiente.

La tierra es el material base para el Eco-domo, pues según Ciudad (2011) en su manual del superadobe, nos dice que los domos se hacen con la tierra que se retira para hacer los cimientos y la que se acumula al allanar la zona de construcción. Aun así, el domo demanda más cantidad; un domo de 4 metros de diámetro consume unas 40 toneladas tierra. Es importante saber su porcentaje de grava, arena y arcilla. Se debe hacer varias pruebas en el terreno en el lugar de la cimentación y la zona de extracción para asegurarnos que no haya variaciones granulométricas. Se tiene que tener un 30% de arcilla y un 70% de arena. Pero un 20% y un 80% siempre que se supere la prueba de estabilidad con cal.

El saco de polipropileno es transpirable por lo que permite que la mezcla estabilizada reaccione con el oxígeno del exterior. En fase de ejecución el saco actúa de encofrado, pudiendo ser desplazado y moldeado con facilidad. A su vez, además de encofrado, el saco de polipropileno proporciona la resistencia a tracción necesaria (Canadell Ruiz, 2014).

Se recomienda el empleo de alambre de espino de acero galvanizado de 4 púas, ya que aporta adhesividad a la interface entre sacos. Es evidente que para solicitaciones horizontales como en un sismo, las púas de acero ofrecen flexibilidad y una fricción adicional entre las hiladas. Mejoran el confinamiento lateral de la hilada por lo que la tensiones de tracción que se trasmite al saco es ligeramente inferior (Canadell Ruiz, 2014).

La teoría de resistencia a compresión fue estudiada y evaluada por Pelly (2010) y Vadgama (2010) citada por Canadell (2014), basados en la teoría existente, produjeron un análisis simplificado asumiendo condiciones de deformación plana. Vadgama (2010) exploró el comportamiento de los earthbag considerando dos tipos de bordes para los sacos: rectangulares y semicirculares, y se basó en los siguientes supuestos:

- ✓ Los earthbags tienen una sección transversal constante y están completamente llenos con un material granular sin cohesión; el volumen de las bolsas no cambia a lo largo de carga.
- ✓ Para el ensayo a compresión, las placas son rígidas y paralelas. La superficie de la platina no tiene fricción.
- ✓ El comportamiento del material de la bolsa es lineal elástica y se mantiene el espesor constante a lo largo de carga.
- ✓ Condición de deformación plana.
- ✓ Earthbag fallará en la cara superior e inferior, por lo tanto, el material de la bolsa llega a su capacidad máxima de tracción sólo en estos puntos.
- ✓ Para un estado sin carga, no hay tensión inducida en el material de la bolsa o en el relleno, el peso del material de relleno se desestima.

A partir de los dos modelos estudiado, Vadgama (2010) concluyo que la resistencia a compresión de un earthbag sometido a carga vertical depende de la resistencia a la tracción del material de la bolsa y del ángulo de fricción del material de relleno, para los supuestos descritos anteriormente. La rigidez general de un earthbag, por su parte, es más complicada de deducir y dependería de más factores tales como el material de la bolsa, la compresibilidad del suelo y las restricciones superiores e inferiores del earthbag.

El estudio determinó que la carga de falla prevista del modelo semicircular era más precisa, sin embargo, seguía siendo una sobre-estimación, por lo cual se considera aceptable la estimación del modelo rectangular. Asumiendo la relación de tensiones para el suelo y conociendo las propiedades del material de relleno, la carga de falla bajo compresión puede ser estimado haciendo equilibrio de fuerzas del diagrama de cuerpo libre para el modelo rectangular (suponiendo que la bolsa falla en las caras superior e inferior).

Para Nader Khalili hay siete consideraciones para construir una casa resistente y adecuada.

- Si el diámetro interior es mayor a 5 pies (1,524 metros) de diámetro se deben colocar contrafuertes.
- Los contrafuertes han de quedar 18 pulgadas (45,72 centímetros) por encima del springline.
- La anchura de los sacos rellenos medidos en pulgadas ha de ser mayor o igual que el diámetro interior del domo medido en pies.
- No se debe usar nunca una anchura de saco inferior a 12 pulgadas (30,48 centímetros) por ser inoperativos.
- No es recomendable construir domos con diámetro interior mayor a 5 metros.
- En vista en planta, para cada cuadrante solo puede haber una puerta.

Entre puerta y ventana debe haber un mínimo de un metro medido en el perímetro interior

Para Trigo Salas (2015) la variedad de diseños posibles es amplia, sin embargo, por lo general se opta por proyectos con formas de cúpulas, por sus ventajas estructurales derivadas de su geometría, simplicidad de construcción y optimización de materiales.

Las bóvedas y cúpulas son estructuras utilizadas desde la antigüedad por sus múltiples ventajas. Estructuralmente hablando, las bóvedas y cúpulas son superficies curvas que transfieren principalmente cargas de compresión a sus apoyos. El problema principal en el diseño estructural de éstas, es la transferencia de los empujes a las fundaciones, por ello resulta fundamental diseñar el perfil de estas estructuras de tal manera que solo puedan darse fuerzas de compresión. La sección transversal ideal de una bóveda con alta carga muerta es una catenaria invertida

Para que la estructura sea estable la línea de presiones debe bajar por el medio tercio de la base de la fundación (ver figura 2), lo que significa que la excentricidad debe ser menor o igual a $1/6$ del espesor. Con este diseño, la componente horizontal de la resultante es menor y se evitan los empujes laterales. Otra alternativa para absorber fuerzas de flexión, es la de diseñar contrafuertes o sistemas análogos que absorban dichos esfuerzos.

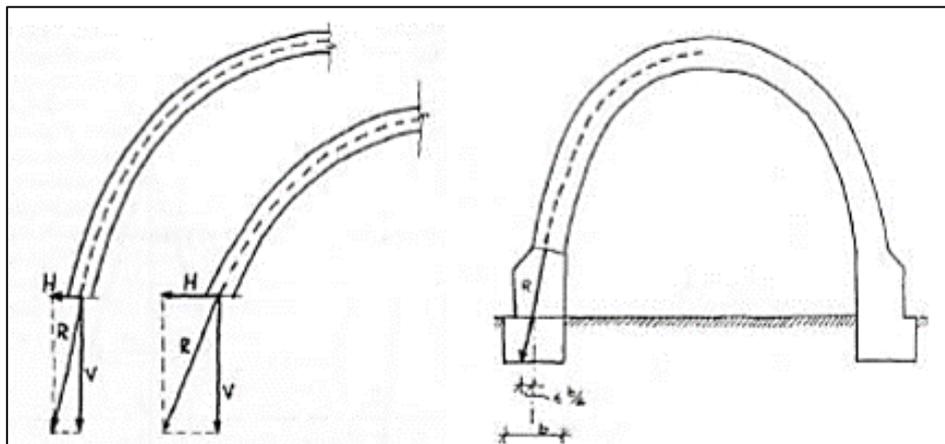


Figura 2: Fuerza resultante en el arranque de bóveda y cúpula (izq.). Regla del medio tercio para el diseño y cálculo de bóvedas y cúpulas (Der.).

Fuente: Trigo Salas (2015).

Según Ciudad (2011) en su manual del superadobe en esta fase de diseño se hace lo siguiente: Primero que se debe hacer es nivelar el suelo utilizando simplemente el

nivelador de agua (una manguera transparente). Se hace el replanteo de la forma del domo utilizando estacas y cuerdas, teniendo en cuenta que se hacen dos hiladas en anchura en la cimentación, es decir se trazan a partir del radio interno del domo dos anchos de cimentación consecutivas. Se hace la excavación de las zanjas de cimentación teniendo en cuenta que en esta zanja van dos hiladas en anchura y el tubo de drenaje al exterior. Se dibuja la entrada del domo (puerta) teniendo en cuenta que dese ser reforzada por ser un vacío en la estructura del domo. De este modo se calcula la distancia que debe medir el contrafuerte trazando una línea a 45° respecto a la cima del domo y la intersección con el suelo esa es la base del contrafuerte.

Se tiene dos opciones para evitar un pasillo en la puerta: Crear un pasillo en curva, que funciona como contrafuerte y da mejor forma a la puerta. Colocar ábsides, que sirven de contrafuerte estructural del domo central y crean más espacios que se utilizaran como habitaciones.

La geometría más común en los domos de superadobe es la revolución del arco ojival apuntado, que, a diferencia de otras curvas más abiertas, optimiza el número máximo de anillos comprimidos perimetralmente. Por ello, no en todas las hiladas se precisa la resistencia a la tracción del saco. (Canadell Ruiz, 2014)

El arco ojival es un arco de dos centros, de radios iguales a la abertura y centros en el intradós del arco opuesto (Canadell Ruiz, 2014).

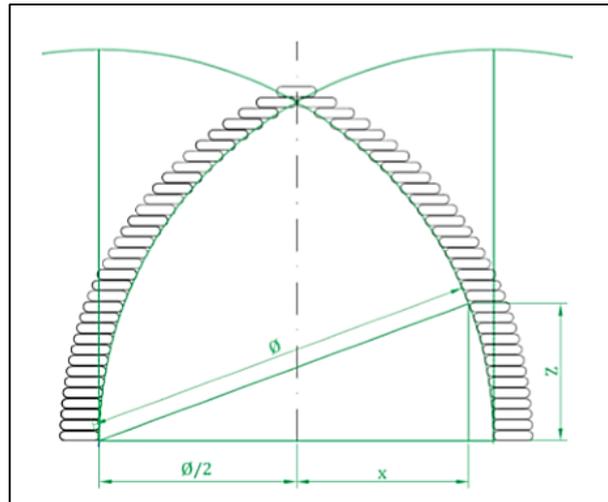


Figura 3: Arco ojival equilátero.

Fuente: Canadell (2014).

Con el fin de poder utilizar la curvatura del arco ojival equilátero, se muestra a continuación la ecuación que relaciona la altura con el radio de la curva.

Ecuación N°1 Relación altura radio de curvatura.

$$x = \sqrt{\frac{\emptyset^2}{4} - Z^2} - \frac{\emptyset}{2}$$

Donde:

X = distancia mínima entre la hilada y el eje del domo.

Ø = diámetro interior de la base.

Z = altura de la hilada.

El arco ojival apuntado es una variación del arco ojival equilátero. En este caso el centro del arco se localiza en el exterior de la base de la cúpula. El proceso constructivo que ideó Nader Khalili lleva intrínseco esta geometría. El arco ojival apuntado se establece cuando el compás de altura se fija desde el extradós del domo tal como se muestra en la figura 3.

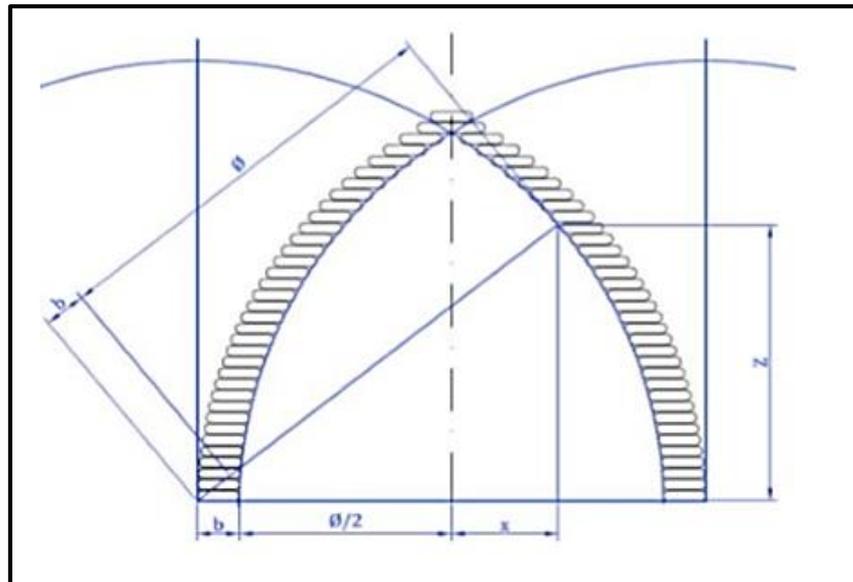


Figura 4: Arco ojival apuntado.

Fuente: Canadell (2014).

En cuanto a la relación entre la altura y el radio interior de un arco ojival apuntado, toma en cuenta el ancho de la hilada de la estructura.

Ecuación N°2: Relación altura radio de curvatura.

$$x = \sqrt{(\varnothing + b)^2 - z^2} - \left(\frac{\varnothing}{2} + b\right)$$

Donde:

X = distancia mínima entre la hilada y el eje del domo.

Ø = diámetro interior de la base.

Z = altura de la hilada.

Según Canadell (2014), los domos resultan estables estructuralmente, de hecho, se concibieron con el objetivo de alojar personas en aquellas zonas susceptibles a padecer catástrofes naturales como sismos o tornados. Resisten los esfuerzos mayoritariamente por forma. Los muros en la parte inferior llegan a alcanzar los 80

cm, y las cúpulas se contrapean entre ellas, contribuyendo a un estado de compresión en las partes bajas de la estructura.

Según Candell (2014) hoy en día el análisis habitual para diseñar estructuras en cúpula delgada son los métodos numéricos. Se utilizan elementos tipo shell thin en el método de elementos finitos (MEF) formando la cúpula por una malla de éstos elementos. Estos métodos cuentan más detalles que la teoría de la membrana y pueden considerar el efecto de la flexión.

Los elementos finitos permiten geometrías muy variadas. En caso de ser estructuras de revolución es posible hacer un cálculo en 2D y reducir considerablemente los costes de cálculo. Si la cúpula tiene aberturas o simplemente no es de simetría axial se procede al cálculo en 3D. En la siguiente figura 2.27 se muestran ejemplos de cálculos por elementos finitos.

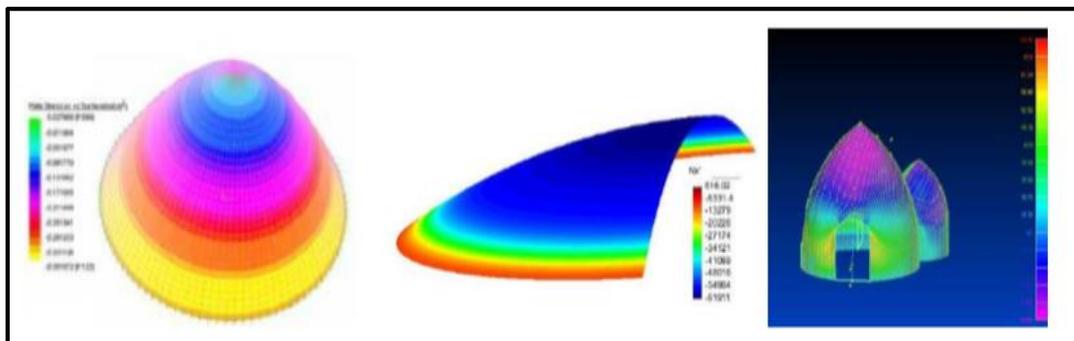


Figura 5: Cálculo de tensiones por el MEF.

Fuente: Canadell (2014).

El cálculo estructural por MEF se basa en la mecánica de medios continuos. El comportamiento de la estructura queda determinado por tres tipos de ecuaciones: las relaciones cinemáticas, constitutivas y el equilibrio. Las conexiones entre estas relaciones junto con las condiciones de contorno determinan en los elementos las

tensiones, que equilibran a las cargas, y a su vez las deformaciones o desplazamientos que sufren éstos.

Programas no muy sofisticados permiten introducir comportamiento elástico lineal, pero también no lineal o de carácter plástico, siendo posible el cálculo de deformaciones, cosa que los otros métodos explorados anteriormente no lo hacen. Sin embargo, los modelos lineales de elasticidad no permiten analizar los casos de colapso del material y en ocasiones es difícil interpretar correctamente los resultados de modelos de plasticidad. Los modelos de perfecta plasticidad no son representativos de cúpulas de masonería por lo que la teoría actual se encuentra en un punto estancado en cuanto cómo y qué tipo de análisis utilizar en cada caso.

Respecto al análisis de comportamiento estructural se sigue los lineamientos que especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones en las normas NTE-020, 2006 de cargas, la NTE-030, 2016 de diseño sismorresistente y la NTE-080, 2017 de diseño y construcción con tierra reforzada.

El Peligro Sísmico según la norma E.030 depende únicamente del lugar y las características del terreno de fundación del proyecto.

Zona Sísmica de acuerdo a la norma E.030 se determina donde se encuentra el proyecto en base al mapa de zonificación sísmica (Ver figura 7) o a la Tabla de provincias y distritos del Anexo N° 1 de la presente norma.



Figura 6: Mapa de Zonificación Sísmica.

Fuente: NTE.030 (2016).

Parámetros de Sitio S , T_P y T_L según la NTE.080 se tiene.

Tabla 1: Factor de suelo (S) para edificaciones de tierra reforzada.

Tipo	Descripción	Factor de Suelo (S)
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible > 0.3 MPa ó 3.06 kg.f/cm ²	1.0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible > 0.1 Mpa ó 1.02 kg.f/cm	1.4

Fuente: NTE.080, 2017.

El coeficiente Sísmico C según la NTE.080 se tiene:

Tabla 2: Coeficiente sísmico por zona sísmica para edificaciones de tierra reforzada.

Zona Sísmica	Coeficiente Sísmico (C)
4	0.25
3	0.20
2	0.15
1	0.10

Fuente: NTE.080, 2017.

La caracterización del edificio se determina dependiendo de su categoría, sistema estructural y configuración regular o irregular.

La categoría del edificio y el Factor de Uso U de acuerdo a la NTE.080 se tiene.

Tabla 3: Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación para edificaciones de tierra reforzada.

Tipo de Edificaciones	Factor de Uso (U)	Densidad
NT A.030 Hospedaje	1.4	15%
NT A.040 Educación		
NT A.050 Salud		
NT A.090 Servicios comunales		
NT A.100 Recreación y deportes		
NTA.110 Transporte y Comunicaciones	1.2	12%
NT A.060 Industria		
NT A.070 Comercio		
NT A.080 Oficinas	1.0	8%
Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta		

Fuente: NTE.080, 2017.

Según la NTE.030 (2016), para el análisis estructural se sugieren criterios para la elaboración del modelo matemático de la estructura, se indica cómo se debe calcular el peso de la edificación y se definen los procedimientos de análisis.

Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que

excedan los señalados para cada material estructural en su Norma de diseño específica (Norma E.020, 2006).

Se determina el peso (P) para el cálculo de la fuerza sísmica adicionando a la carga permanente total un porcentaje de la carga viva que depende del uso y la categoría de la edificación (NTE.030, 2016).

La norma E.020 (2006) del reglamenta nacional de edificaciones indica que todas las cargas actúan en combinaciones, la que produzca los efectos más desfavorables en el elemento estructural considerando, con las reducciones, cuando sean aplicables.

Para la investigación propuesta se utilizan las siguientes combinaciones.

Ecuación 3: Combinación de cargas (Norma E.020).

$$U = D + L$$

$$U = (D + L) + S$$

Donde:

D: Carga muerta.

L: Carga Viva.

E: Carga de sismo.

Según la NTE.080 la fuerza sísmica horizontal en la base de las edificaciones de tierra reforzada se determina mediante la siguiente expresión:

$$H = S.U.C.P$$

Donde:

S = Factor de suelo según lo indicado en la Tabla N° 6.

U = Factor de uso según lo indicado en la Tabla N° 9.

C = Coeficiente sísmico según lo indicado en la Tabla N° 7.

P = Peso total de la edificación.

Así mismo se debe conocer los siguientes términos:

Adobe, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017), es la unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

Carga, según la NTE.020 fuerza u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos.

Carga Viva, según la NTE.020 es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación.

Carga muerta, según la NTE.020 es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo.

Arena, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017), es un componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendido entre 0.08 mm y 0.50 mm. Como el limo puede contribuir a lograr una mayor compacidad del suelo, en ciertas circunstancias.

Arcilla, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017), es único material activo e indispensable del suelo. En contacto con el agua permite su amasado, se comporta plásticamente y puede cohesionar el resto de partículas inertes del suelo formando el barro, que al secarse adquiere una resistencia seca que lo

convierte en material constructivo. Tiene partículas menores a dos micras (0.002 mm).

Tierra, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017) material de construcción compuesto de cuatro componentes básicos: arcilla, limo, arena fina y arena gruesa.

Sismo leve, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017), Igual o menor a intensidad III de la Escala de Mercalli Modificada

Muro, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017) es un muro arriostrado cuya estabilidad lateral está confinada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales y que incluye refuerzos.

Mortero, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017) material de unión de los adobes en una albañilería. Debe ser de barro mezclado con paja o con arena gruesa y eventualmente con otras sustancias naturales espesas para controlar las fisuras del proceso de secado (cal, mucílago de cactus, y otros comprobados).

Contrafuerte, según la Norma Técnica Peruana E.080 (2017) es un arriostre vertical construido con este único fin. De preferencia puede ser del mismo material o un material compatible (por ejemplo, piedra).

1.2. Formulación del problema

¿Qué tipo de diseño arquitectónico de casa modelo Eco-domo, con arco ojival apuntado o con arco ojival equilátero, ofrece un comportamiento estructural más conservador?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento estructural de una casa considerando el tipo de diseño arco ojival apuntado y arco ojival equilátero.

1.3.2. Objetivos específicos

Diseñar una casa modelo Eco-domo con arco ojival apuntado y arco ojival equilátero.

Determinar el comportamiento estructural una casa modelo Eco-domo diseñado con arco ojival apuntado.

Determinar el comportamiento estructural una casa modelo Eco-domo diseñado con arco ojival equilátero.

Determinar el tipo de diseño de casa modelo Eco-domo que ofrece un comportamiento estructural más conservador.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El comportamiento estructural más conservador de una casa modelo Eco-domo está dado por el diseño arco ojival apuntado.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Según el propósito es aplicada, descriptiva y cuantitativa

Según el diseño es No Experimental

3.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

➤ Población

La población es igual a la muestra ya que es intencionada y a conveniencia.

➤ Muestra

La muestra es no probabilística haciendo un total de 8 modelos de casa Eco-domo, cuatro para cada tipo de diseño.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Tabla 4: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

VARIABLES	RECOLECCIÓN DE DATOS		
	Fuente	Técnica	Instrumento
Diseño de casa modelo Eco-domo	Casa modelo ECO-DOMO.	Observación directa	Software AutoCAD 2018 Versión Educacional
Comportamiento Estructural de casa modelo Eco-domo	Modelación de casa ECO-DOMO en software	Observación directa	Software y SAP2000 20 Versión Educacional

Se realiza el diseño de las ocho casas Eco-domo, se modela y se obtiene los resultados para analizar el comportamiento estructural más conservador, tanto para los diseñados con arco ojival apuntado y arco ojival equilátero, ya que el comportamiento estructural más conservador es el que tiene menor deformación, menores fuerzas y esfuerzos actuantes internos.

3.4. Procedimiento

3.4.1. Recolección de datos

Fase de Diseño en AutoCAD

- ✓ El diseño consiste de ocho modelos de casas Eco-domo, cuatro con diseños con arco ojival apuntado y cuatro con arco ojival equilátero, con diámetros internos y ancho de muro diferentes:
- ✓ El diseño en 2D así como se muestra en las figuras 8 a la 13.

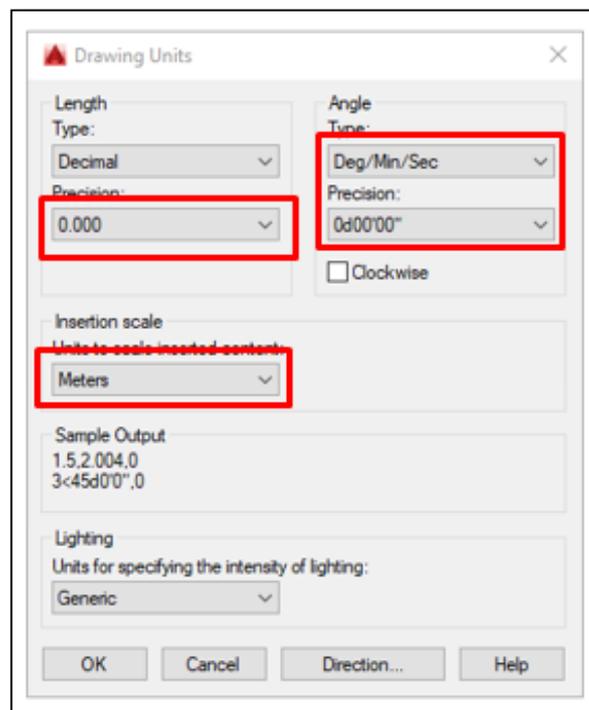


Figura 7: Configuración de unidades en AutoCAD .

Fuente: AutoCAD, 2018.

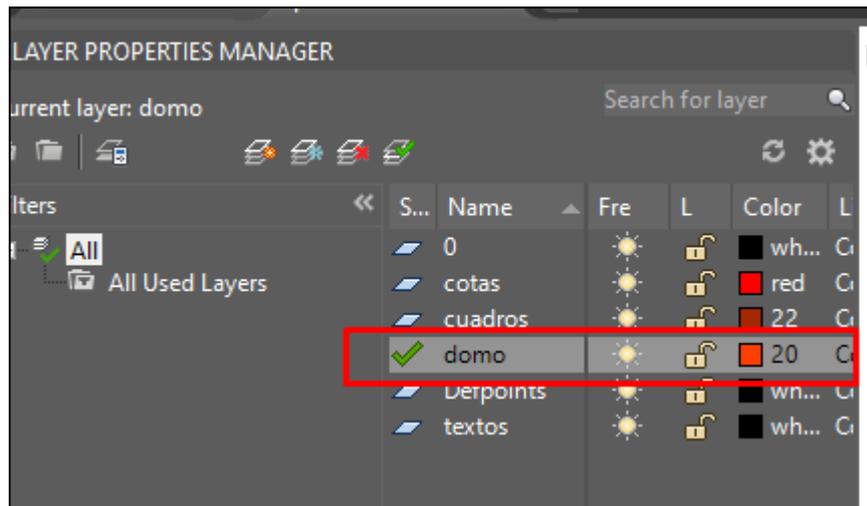


Figura 8: Creación de una capa de trabajo.

Fuente: AutoCAD, 2018.

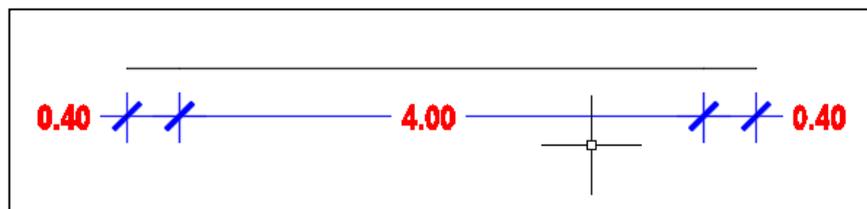


Figura 9: Trazo de líneas: central (diámetro) y extremos (ancho de muro).

Fuente: AutoCAD, 2018.

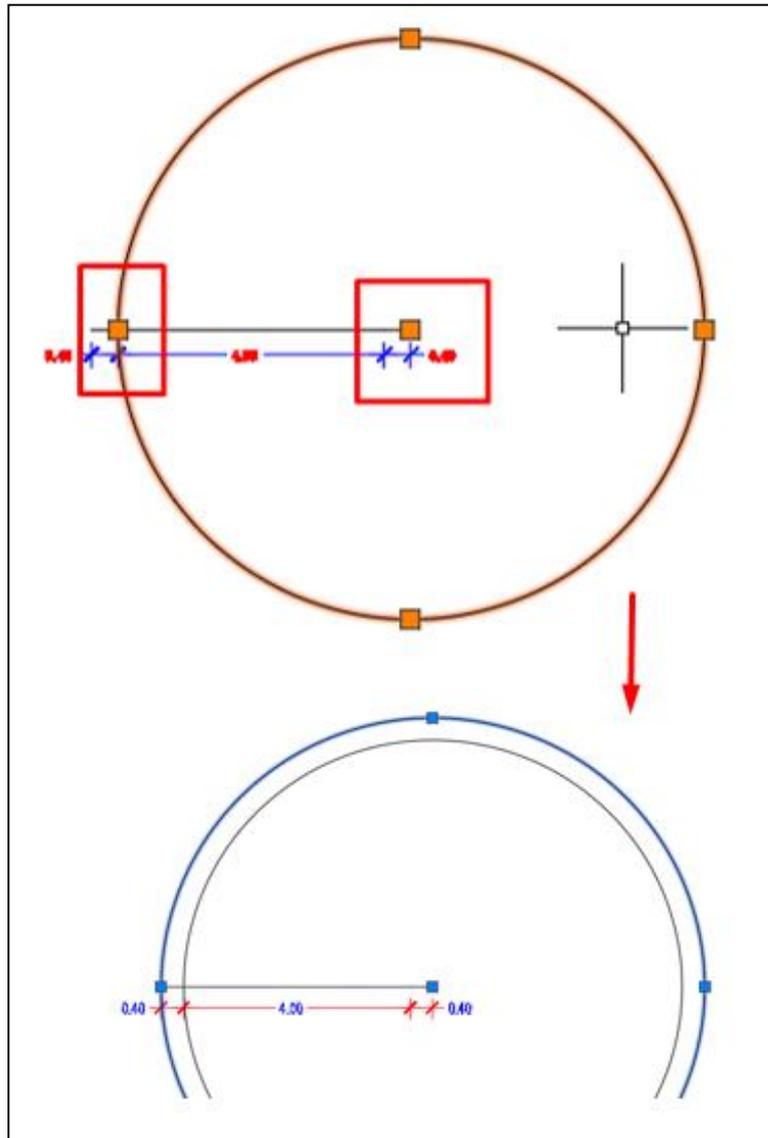


Figura 10: Trazo de círculos desde los extremos de los anchos de muro hacia los extremos del diámetro interior del domo.

Fuente: AutoCAD, 2018.

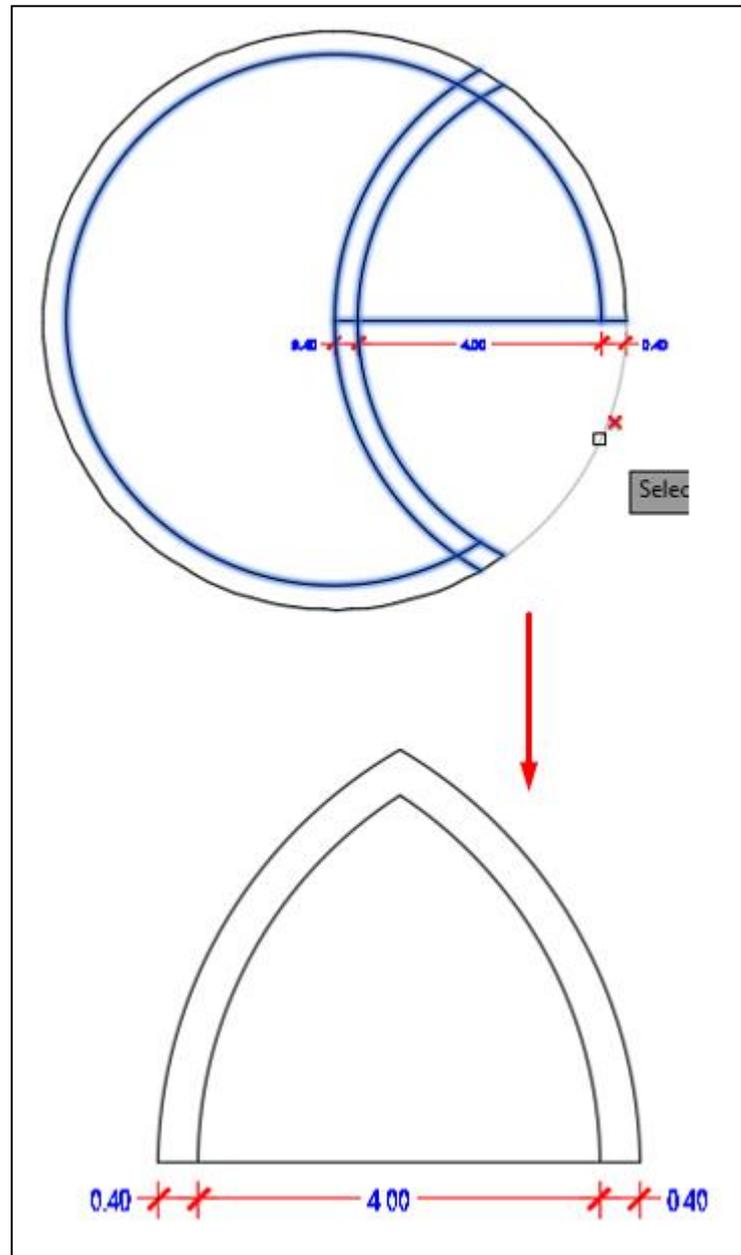


Figura 11: Borrado de líneas innecesarias para obtener el domo en altura.

Fuente: AutoCAD, 2018.

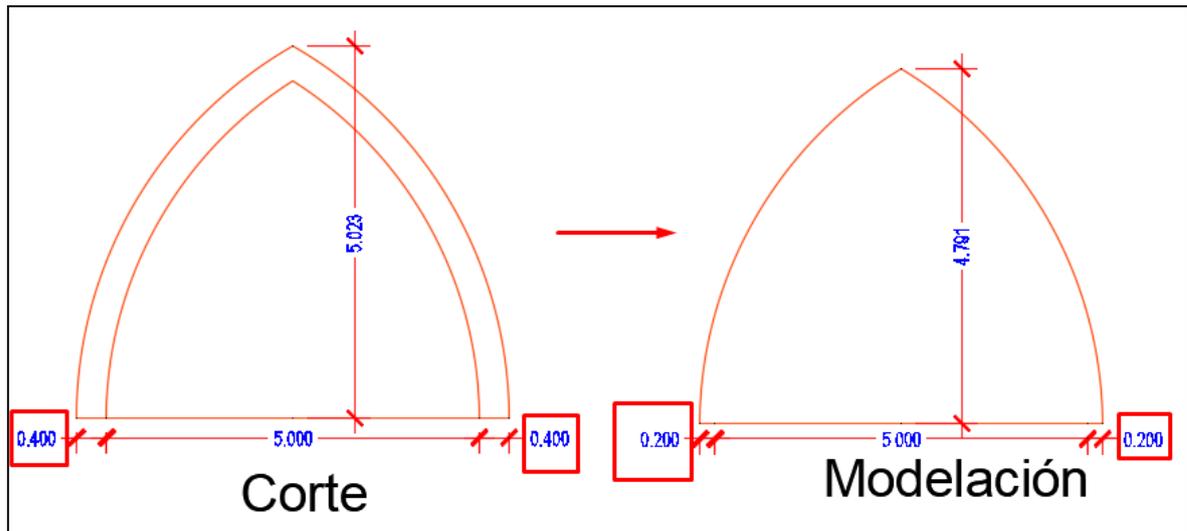


Figura 12: Trazo de línea paralela a la cara interna del muro para hacer el diseño en 3D e importar a Sap2000.

Fuente: AutoCAD, 2018.

- ✓ Diseño en 3D, primero se copia el domo para modelación en otro archivo dwg, se configura las unidades y luego se hace lo que se muestra en las figuras

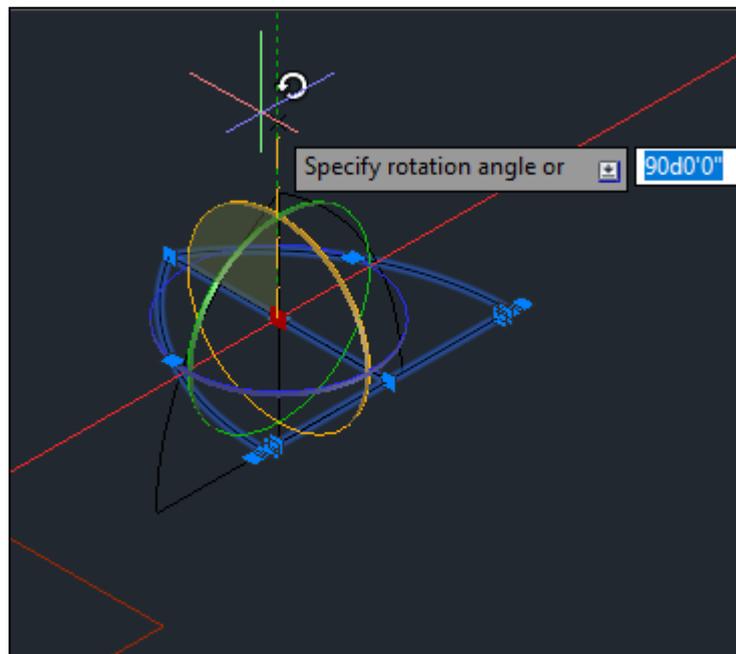


Figura 13: Rotación del modelo para que se encuentre en sentido vertical.

Fuente: AutoCAD, 2018.

Se borra un lado del domo para poder generar una superficie.

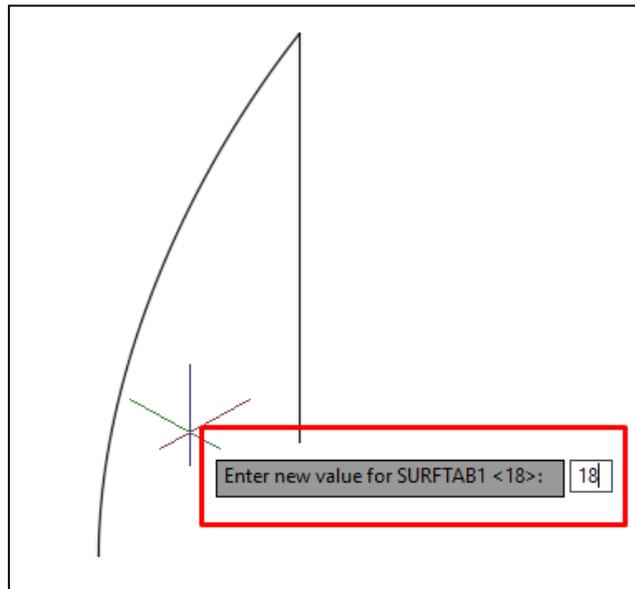


Figura 14: Número de divisiones (gajos) de 20°.

Fuente: AutoCAD, 2018.

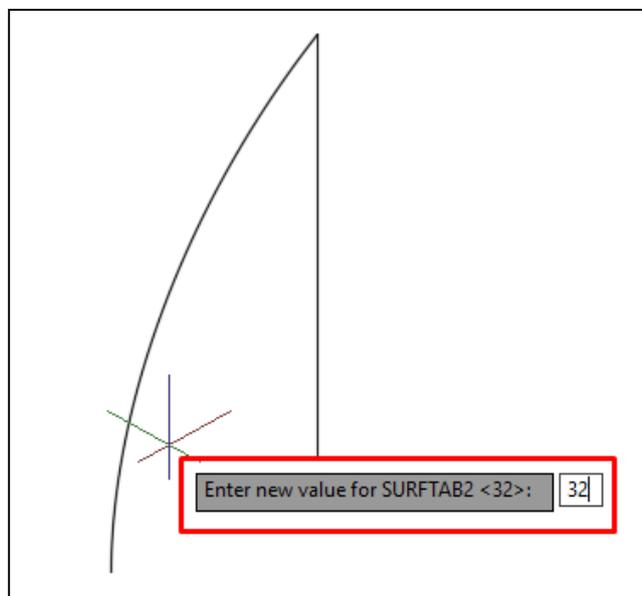


Figura 15: Número de divisiones en altura (en función a altura del domo/altura de hilada de superadobe).

Fuente: AutoCAD, 2018.

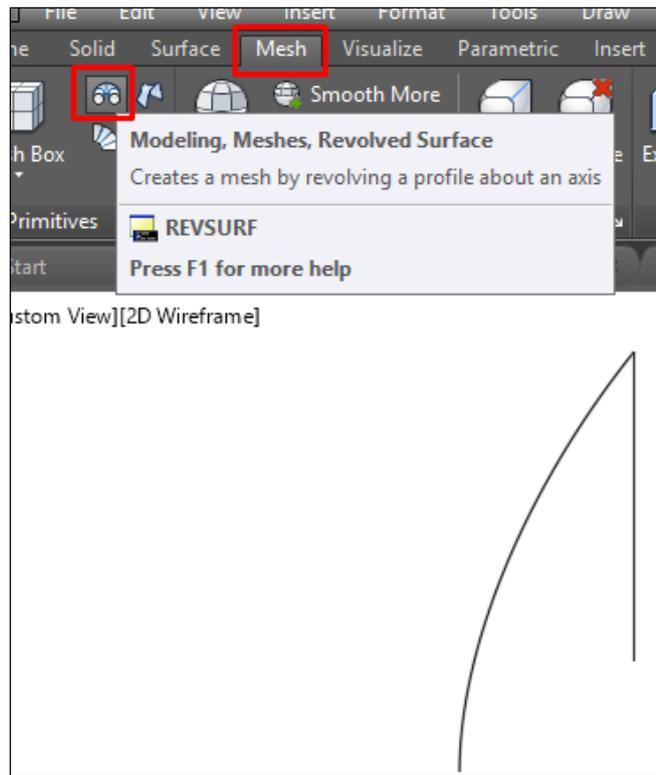


Figura 16: Creación de superficie.

Fuente: AutoCAD, 2018.

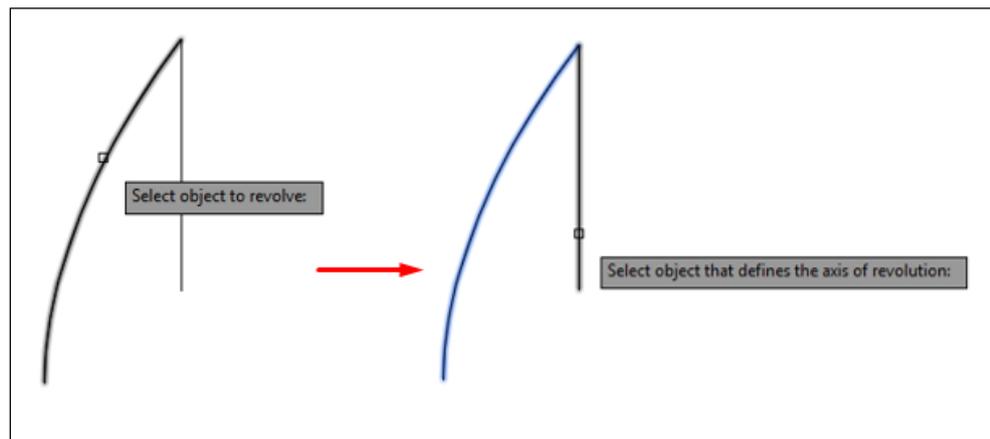


Figura 17: Selección del objeto de revolución y del eje de revolución.

Fuente: AutoCAD, 2018.

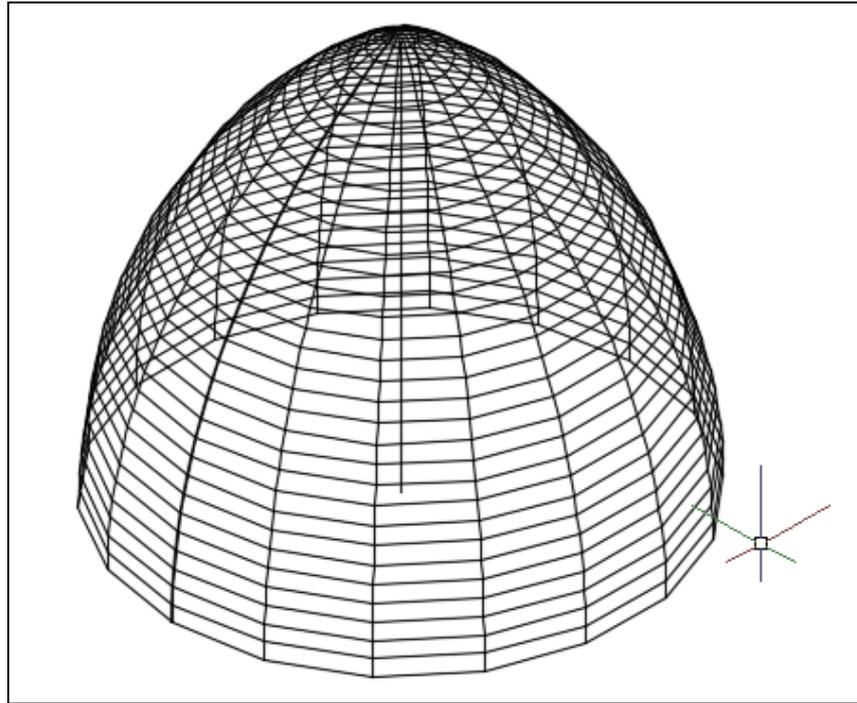


Figura 18: Superficie del Eco-domo revolucionada 360°.

Fuente: AutoCAD, 2018.

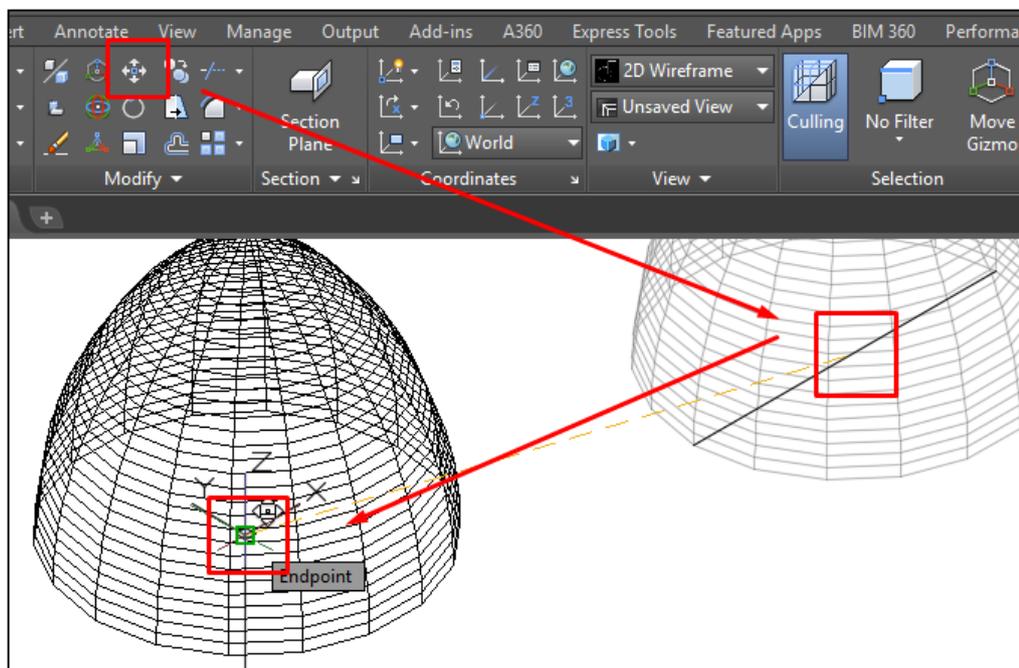


Figura 19: Movimiento y haciendo coincidir el origen de coordenadas con el centro de la base del Eco-domo.

Fuente: AutoCAD, 2018.

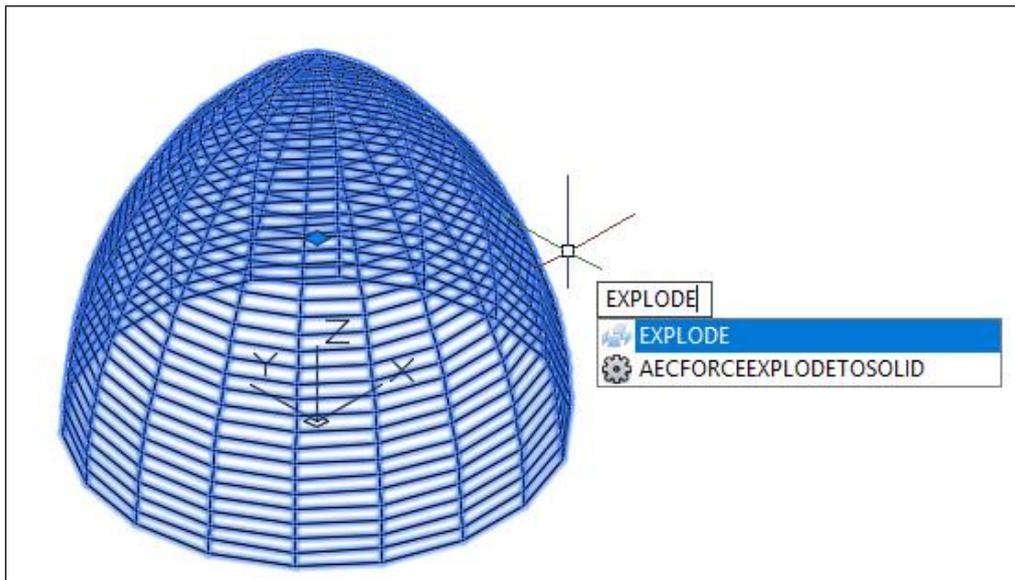


Figura 20: Explotación de la superficie del Eco-domo.

Fuente: AutoCAD, 2018.

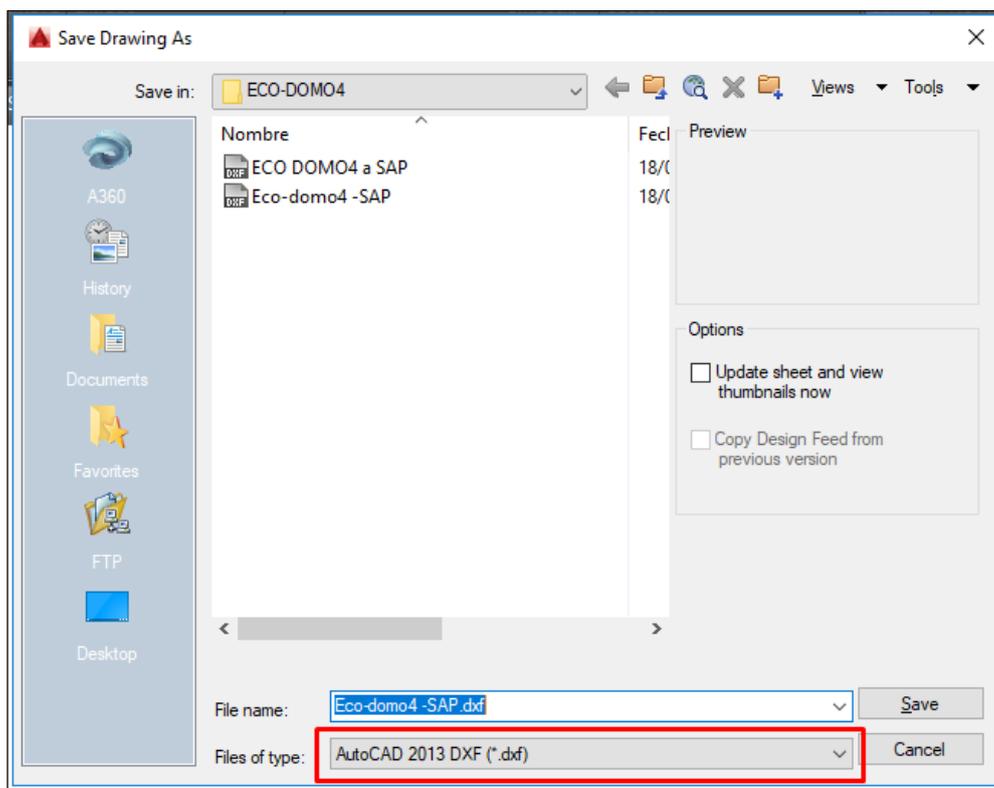


Figura 21: Archivo tipo Dxf. para que sea importado desde Sap2000.

Fuente: AutoCAD, 2018.

3.4.2. Análisis de datos

Fase de Modelación

Para la modelación de los Eco-domos propuestos es necesario realizar el metrado de cargas, determinar las propiedades físicas del material como peso específico, módulo de elasticidad, módulo de Poisson y la resistencia a compresión del material. Además, se calcula la fuerza cortante en la base según la NTE.080.

- Propiedades físicas del material.

La propiedad física se ha tomado en función a la característica del material ya que según Pimentel (2017) en su investigación “Resistencia a compresión uniaxial en unidades de superadobe y adobe compactado se tiene:

Peso específico es 1615 kg/m^3

Resistencia a compresión del superadobe es de 28.97 kg/cm^2

Módulo de Elasticidad del superadobe es de 675291.88 kg/m^2

Según (DELGADO SALVADOR CANALES , 2006), se consideró un

Módulo de Young de 0.25 y Módulo de Elasticidad 675291.9 kg/cm

- Metrado de cargas

En este caso solo se considera la carga muerta debido a que el Eco-domo solo es de un piso y la carga viva presente solo se aplica en nivel de piso terminado del primer piso.

Tabla 5: *Metrado de Cargas.*

DISEÑO	N° DE ECO-DOMO	DIMENSIONES			CARGA MUERTA (kg/m ²)
		ANCHO DE MURO (m)	DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	
OJIVAL APUNTADO	Eco-domo 1	0.400	4.000	3.924	646.000
	Eco-domo 2	0.300	4.000	3.810	484.500
	Eco-domo 3	0.450	5.000	4.848	726.750
	Eco-domo 4	0.400	5.000	4.791	646.000
OJIVAL EQUILATERO	Eco-domo 1	0.400	4.000	3.693	646.000
	Eco-domo 2	0.300	4.000	3.366	484.500
	Eco-domo 3	0.450	5.000	4.588	726.750
	Eco-domo 4	0.400	5.000	4.560	646.000

- Combinación de cargas

Estas combinaciones se definen en el programa computacional Sap2000

basados en la NTE.020 cómo se tiene en la ecuación 3:

$$U = D + L$$

$$U = (D + L) + E$$

Donde:

D: Carga muerta.

L: Carga Viva.

E: Carga de sismo.

- Cálculo de la fuerza cortante en la base.

Este factor se lo determina en función a la NTE.080 (2017)

$$H = S.U.C.P$$

Donde:

$$S = 1.4$$

Factor de suelo según lo indicado en la Tabla N° 6. Se tomó como tipo de suelo II

$$U = 1.0$$

Factor de uso según lo indicado en la Tabla N° 9. El uso del Eco-domo es para vivienda.

$$C = 0.20$$

Coefficiente sísmico según lo indicado en la Tabla N° 7. Cajamarca se encuentra en la zona sísmica 3.

Entonces

$$H = 0.28 P$$

Luego de haber calculado los datos necesarios para introducir en el programa computacional SAP2000, se realiza los siguientes pasos como se indica en las figuras 9 a la 25.

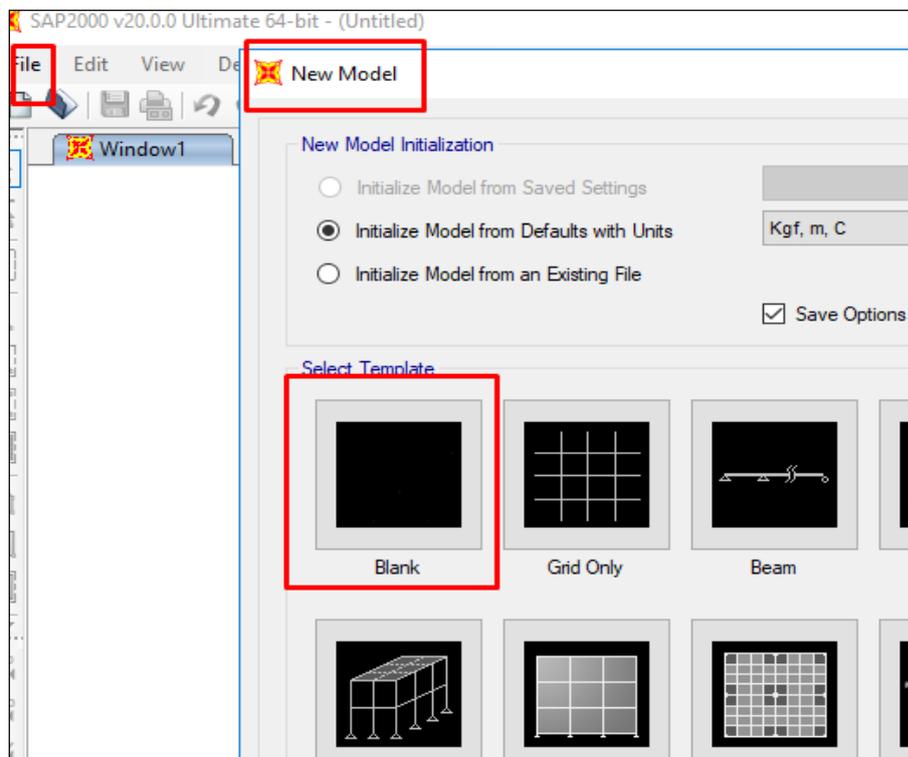


Figura 22: Modelo de inicialización en Sap 2000

Fuente: Sap2000, 2018.

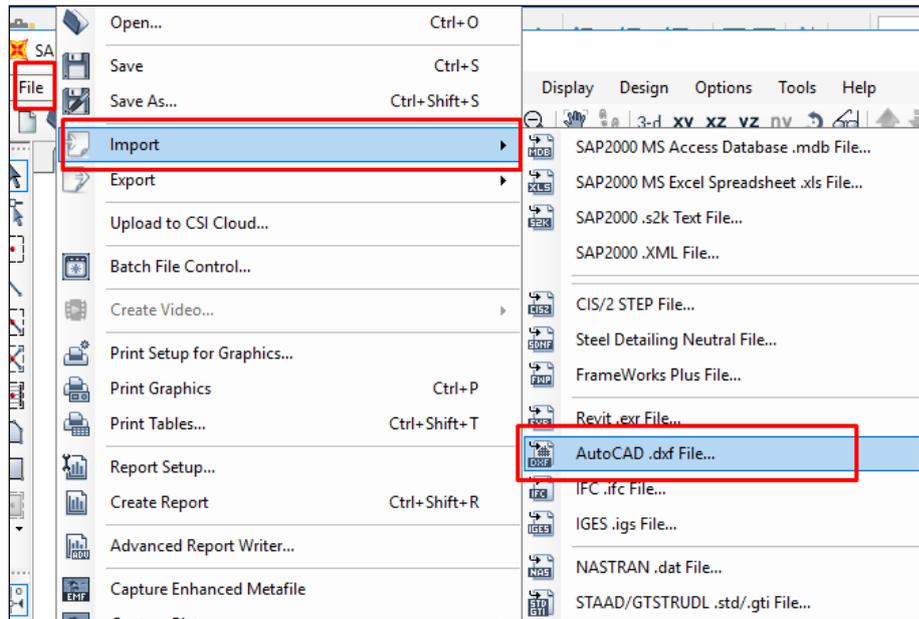


Figura 23: Importación de AutoCAD a Sap 2000.

Fuente: Sap2000, 2018

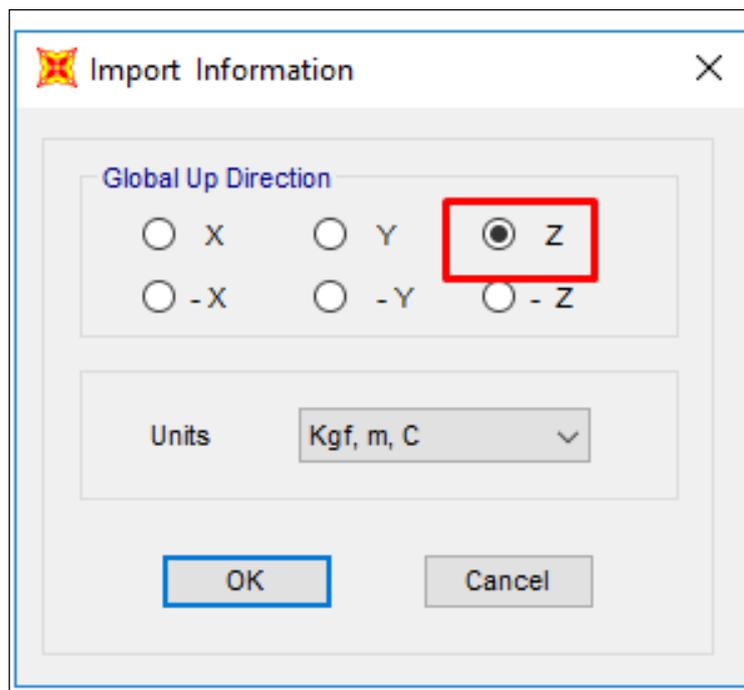


Figura 24: Elección de eje de importación.

Fuente: Sap2000, 2018.

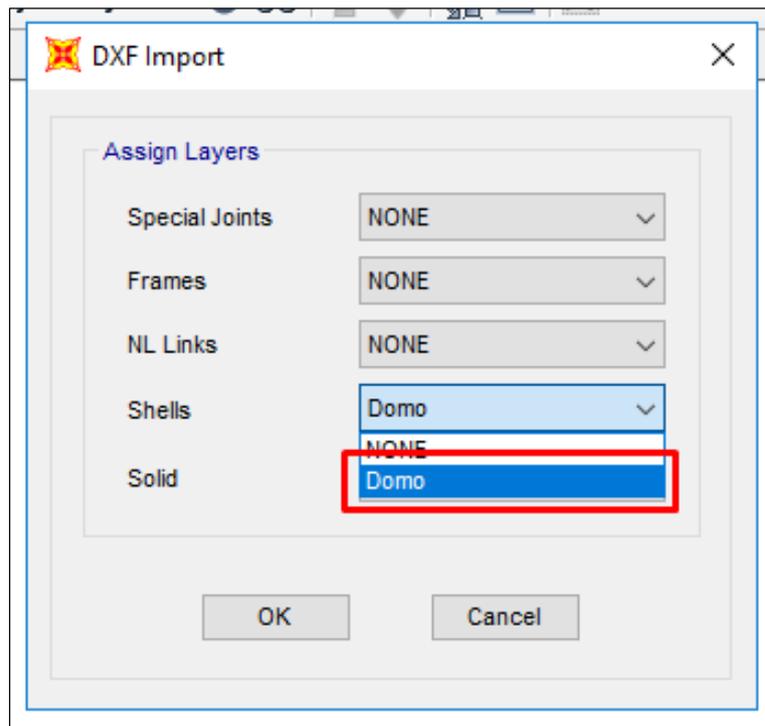


Figura 25: Elección de línea de importación.

Fuente: Sap2000, 2018.

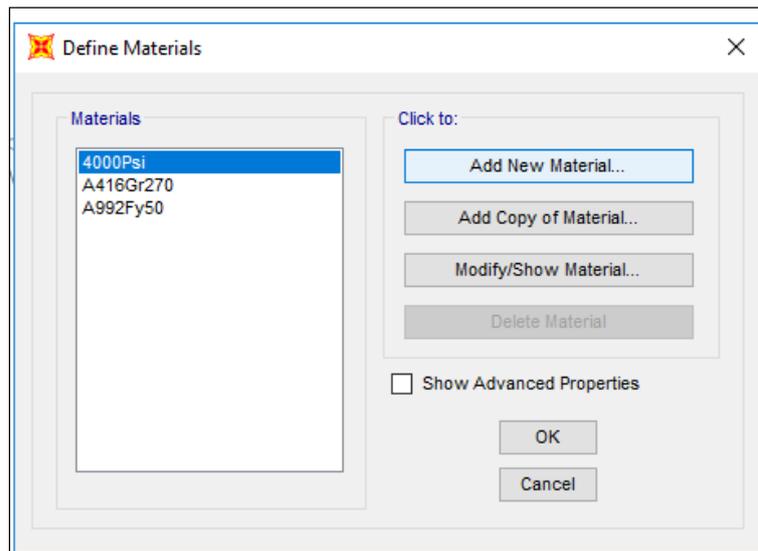


Figura 26: Definición de materiales.

Fuente: Sap2000, 2018.

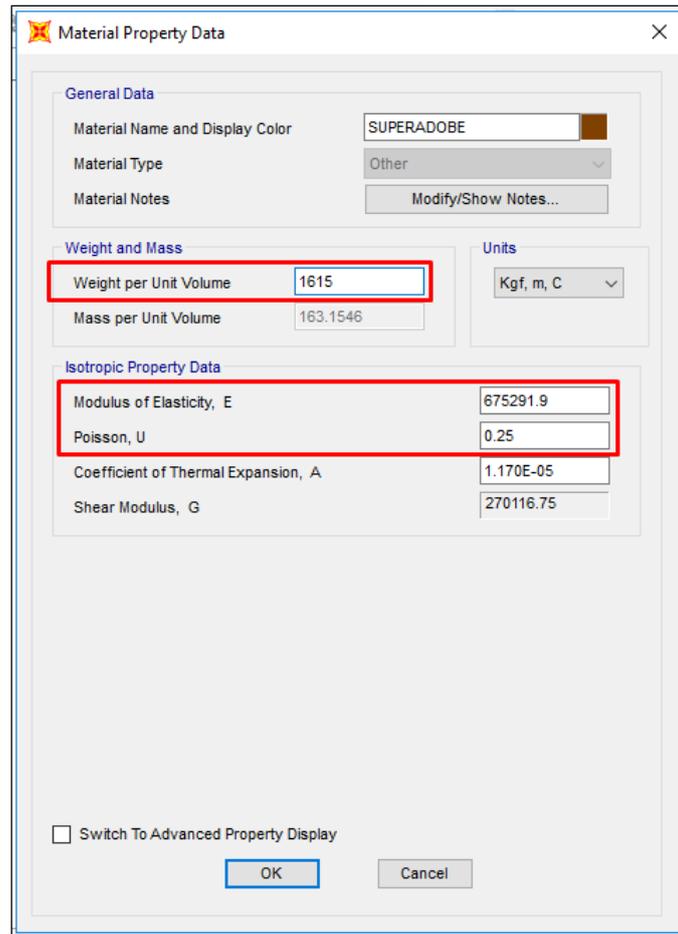


Figura 27: Definición de propiedades de materiales.

Fuente: Sap2000, 2018.

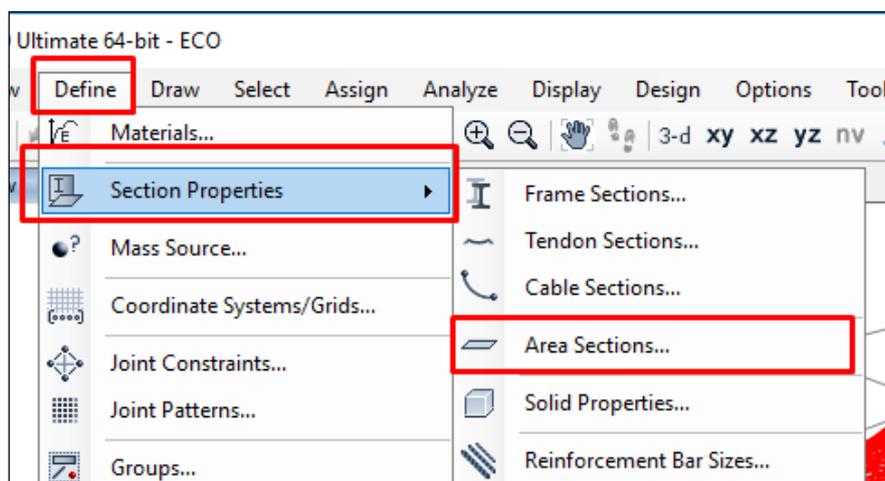


Figura 28: Definición de sección de materiales.

Fuente: Sap2000, 2018.

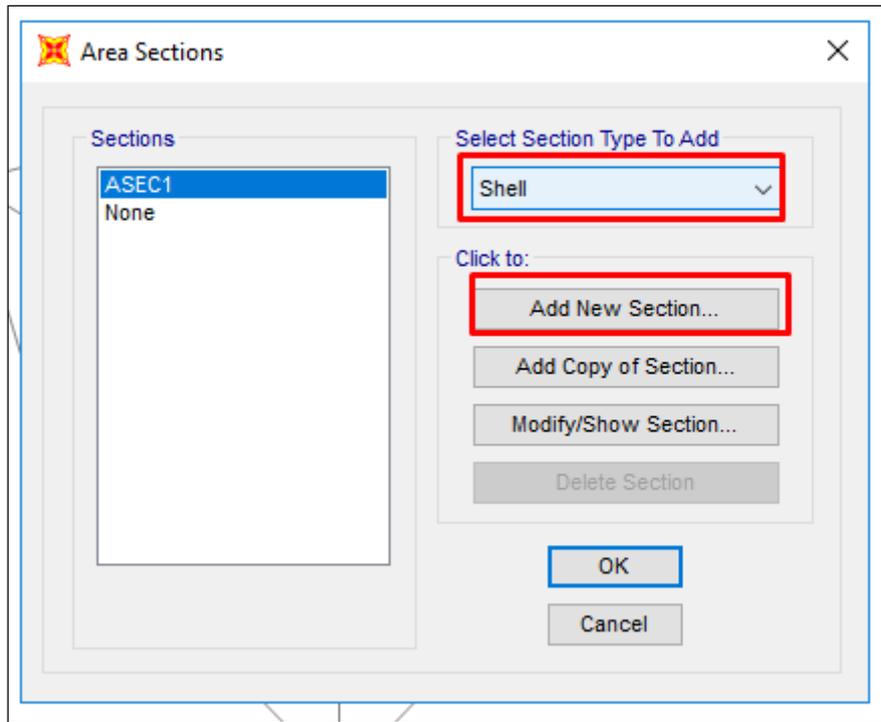


Figura 29: Definición de sección de materiales tipo Shell.

Fuente: Sap2000, 2018.

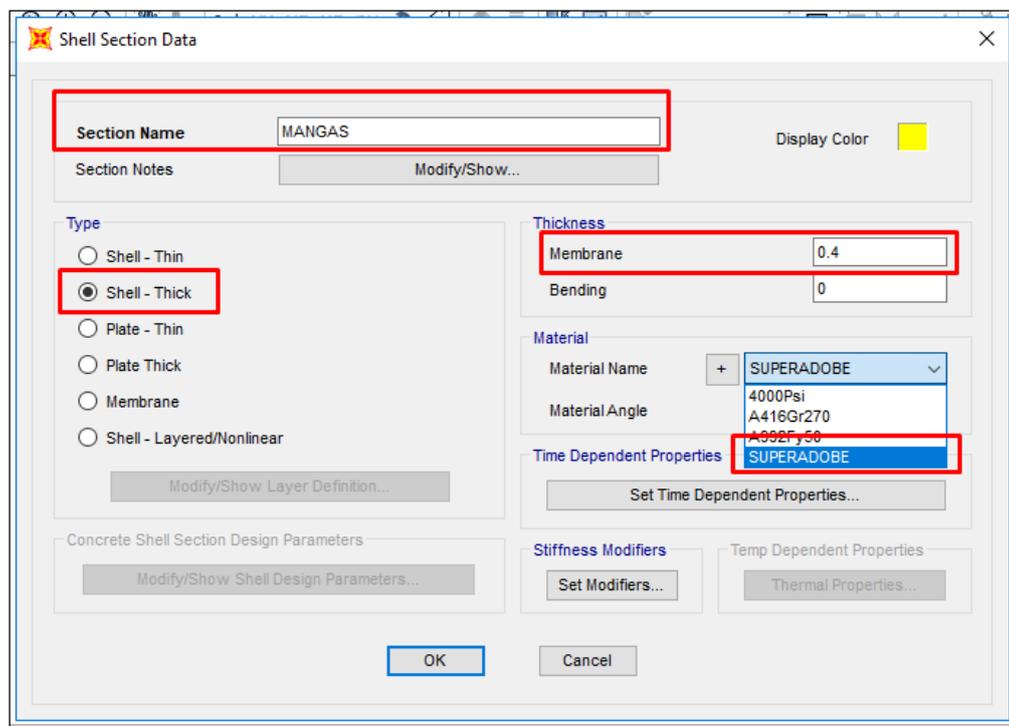


Figura 30: Definición de sección de materiales tipo Shell y tipo de material.

Fuente: Sap2000, 2018.

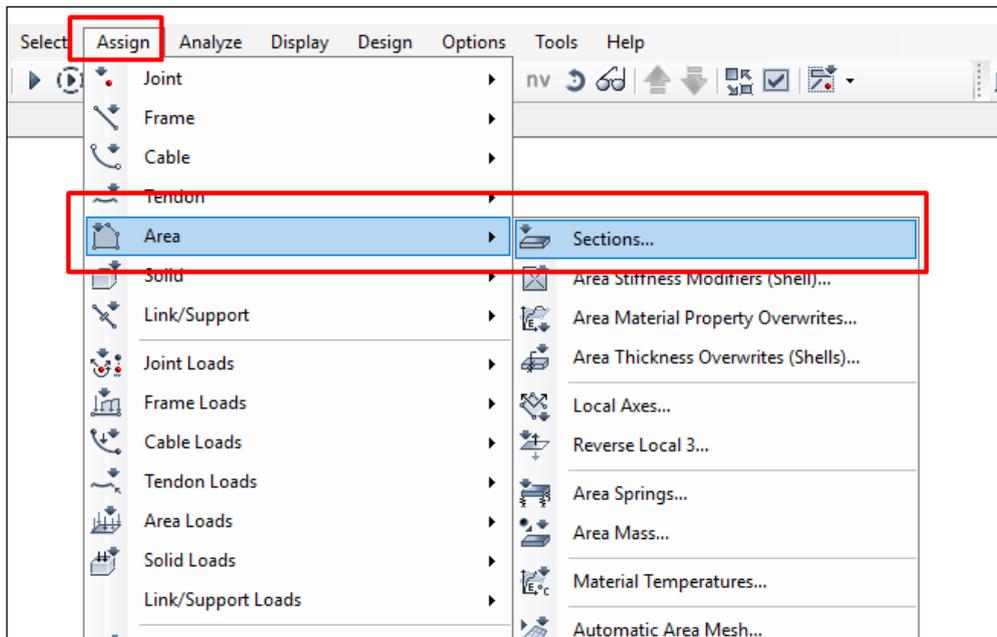


Figura 31: Asignación del tipo de sección al domo.

Fuente: Sap2000, 2018.

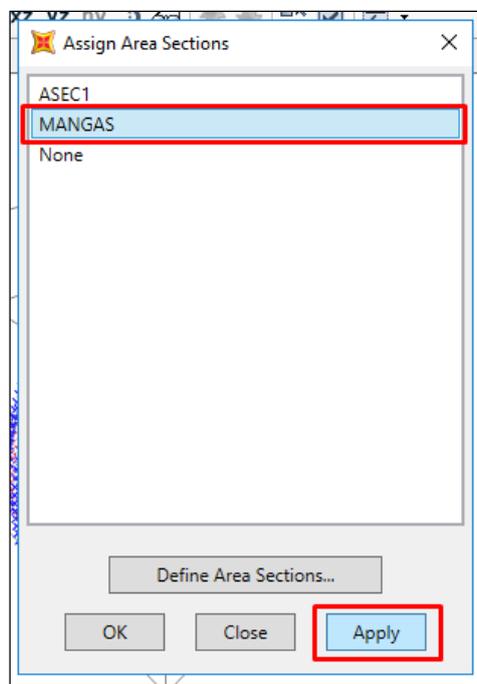


Figura 32: Asignación del tipo de sección al domo.

Fuente: Sap2000, 2018.

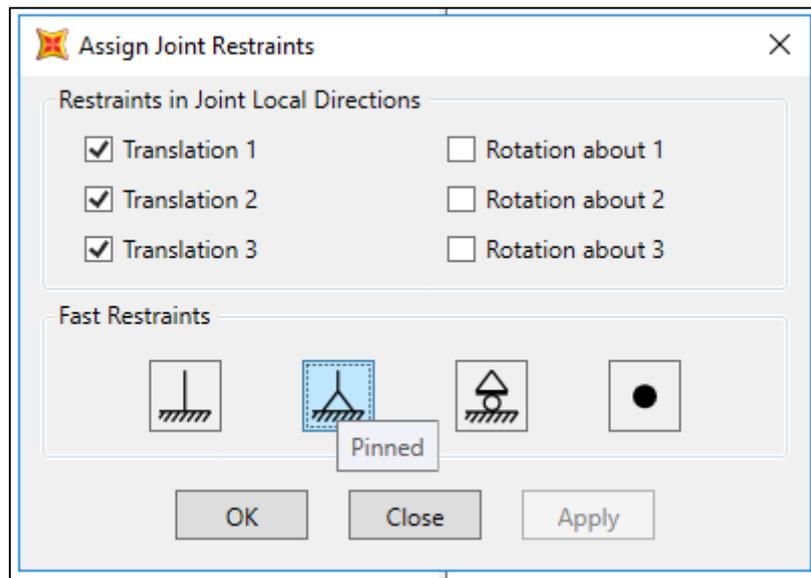


Figura 33: Asignación del tipo de tipo de apoyo.

Fuente: Sap2000, 2018.

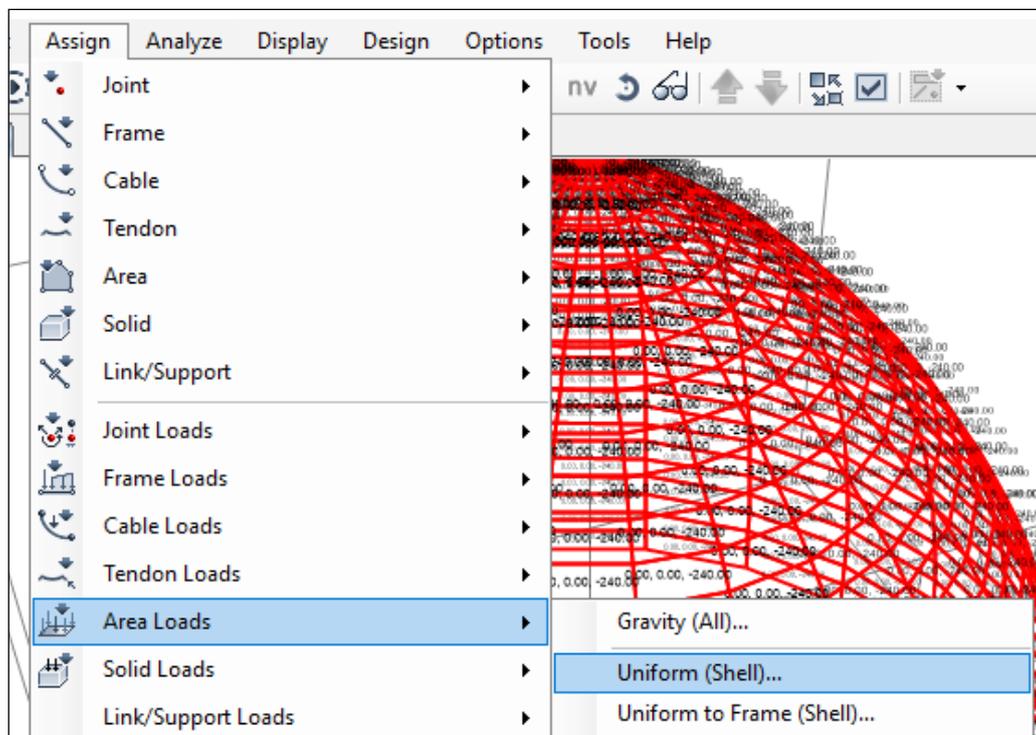


Figura 34: Asignación de cargas.

Fuente: Sap2000, 2018.

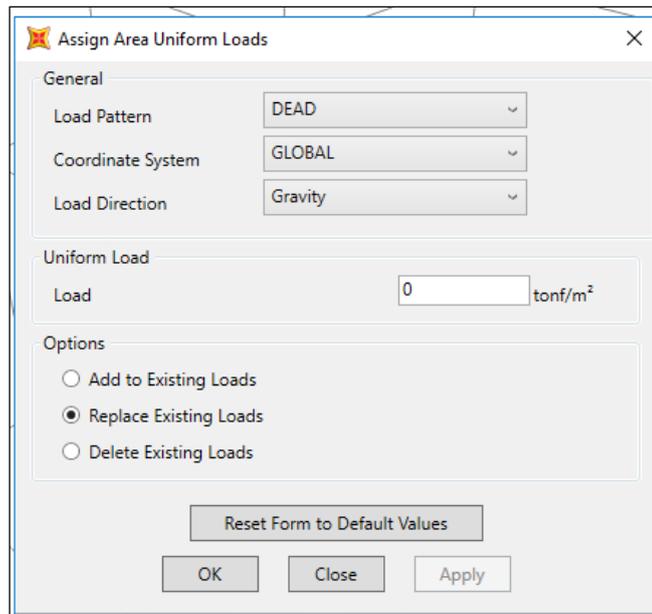


Figura 35: Asignación de cargas.

Fuente: Sap2000, 2018.

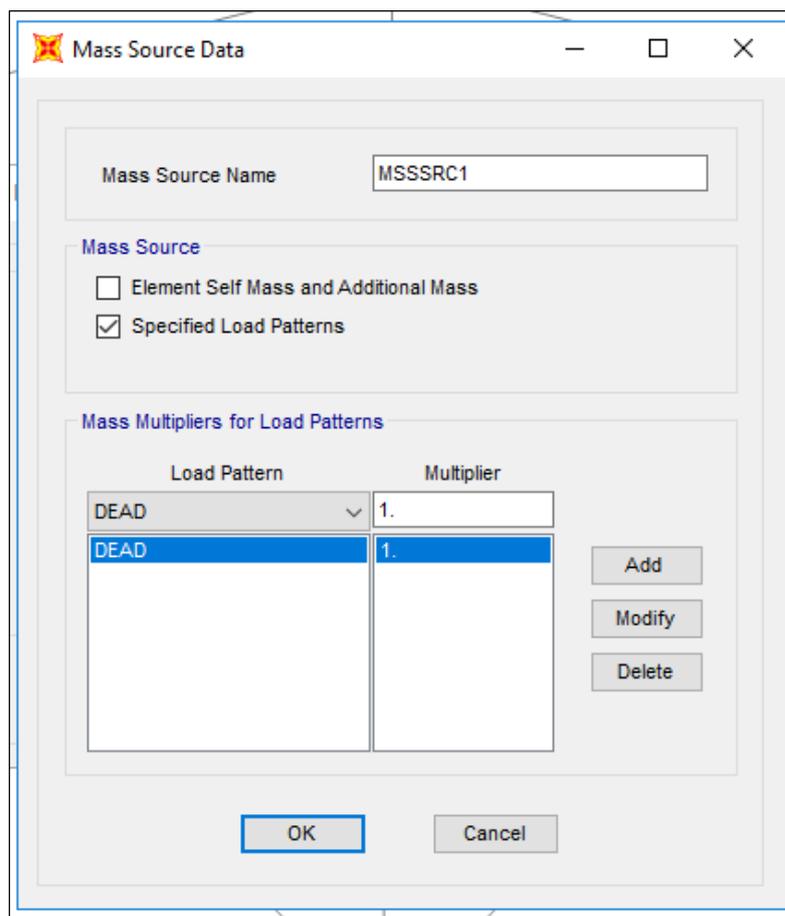


Figura 36: Asignación de masas según el tipo de edificación.

Fuente: Sap2000, 2018.

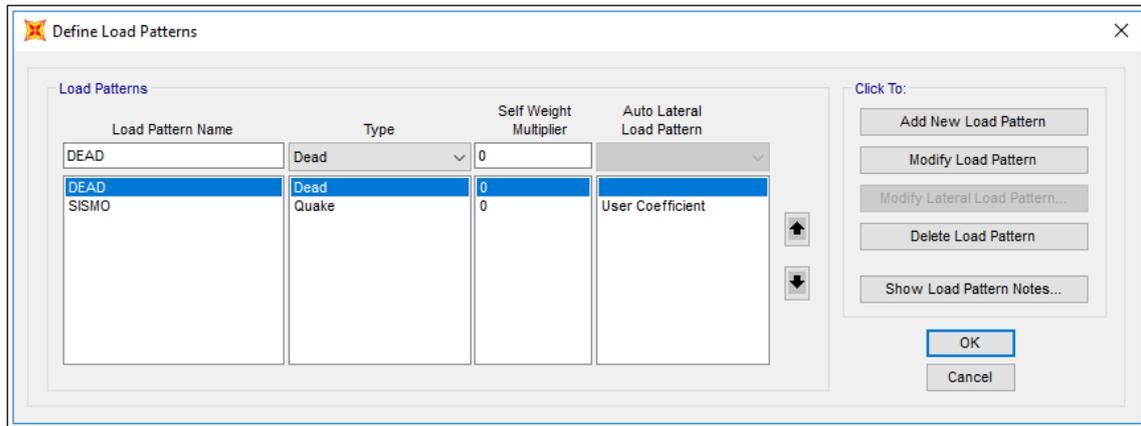


Figura 37: Definición de cargas.

Fuente: Sap2000, 2018.

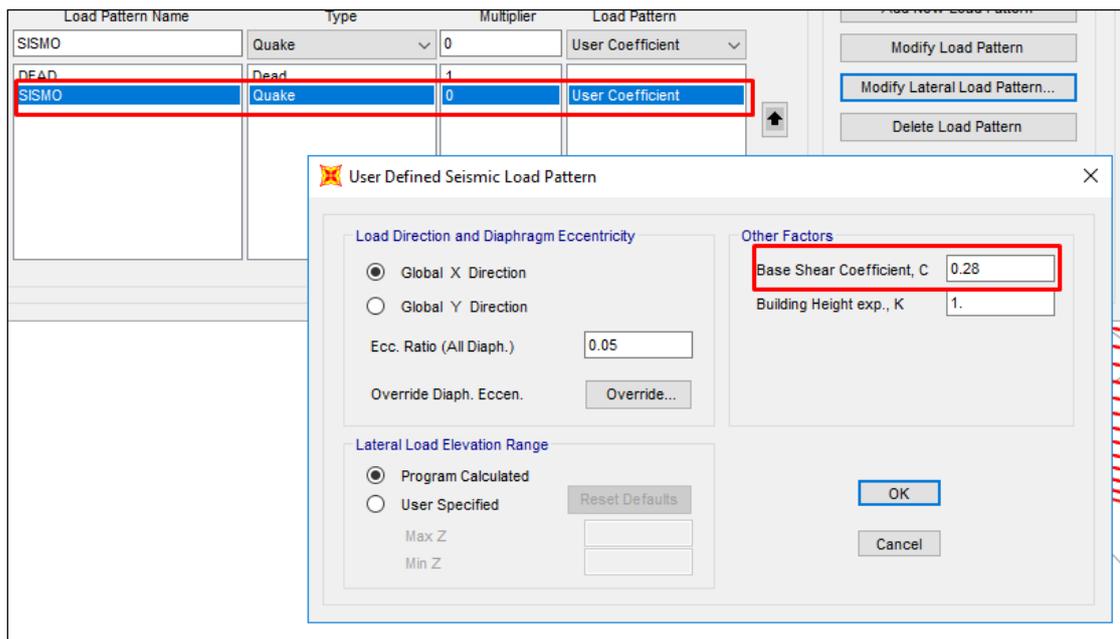


Figura 38: Coeficiente de cortante en la base.

Fuente: Sap2000, 2018.

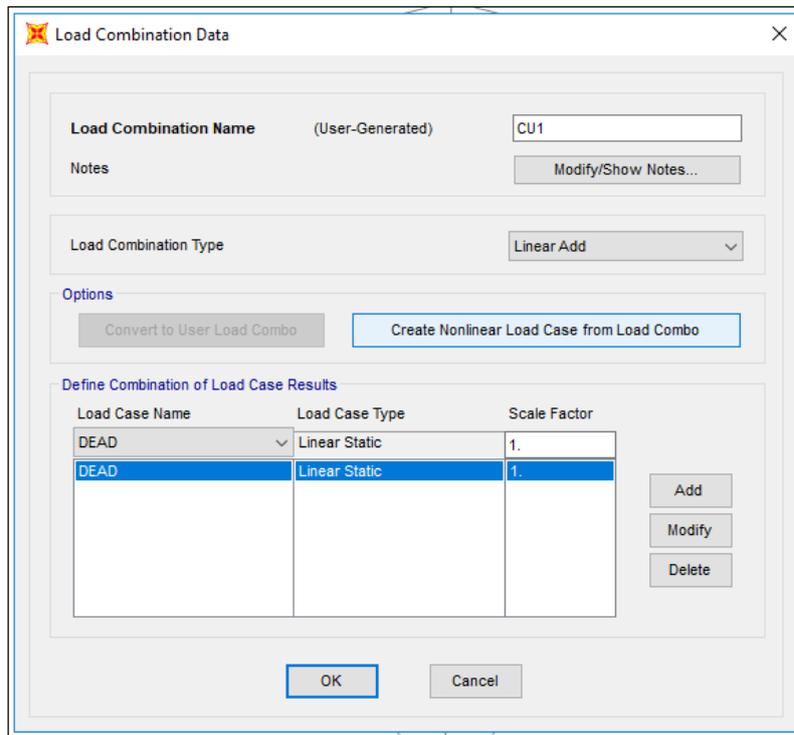


Figura 39: Primera combinación de cargas.

Fuente: Sap2000, 2018.

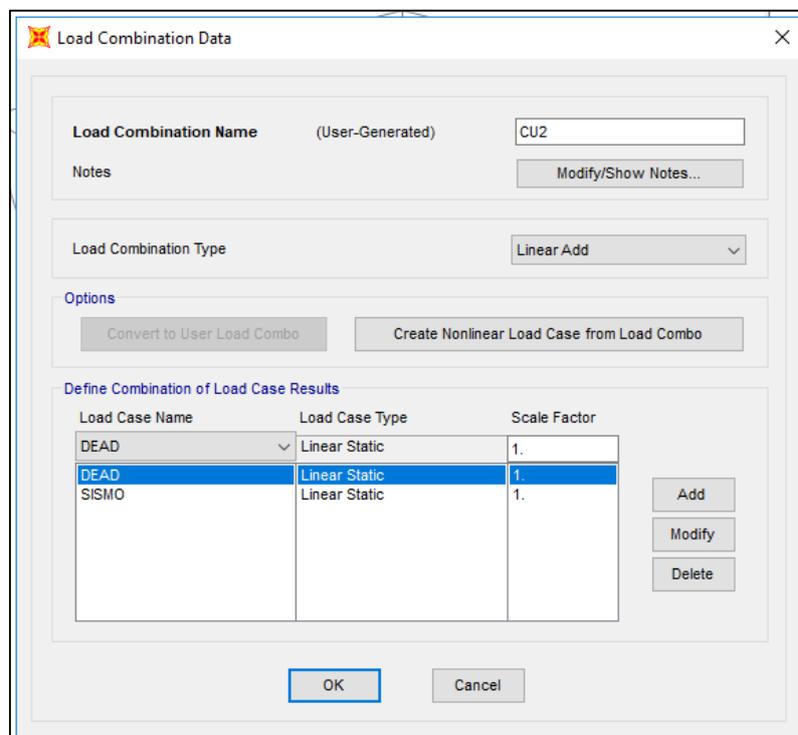


Figura 40: Segunda combinación de cargas.

Fuente: Sap2000, 2018.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Comportamiento estructural de casa modelo Eco-domo.

3.1.1. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado.

3.1.1.1. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 1.

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

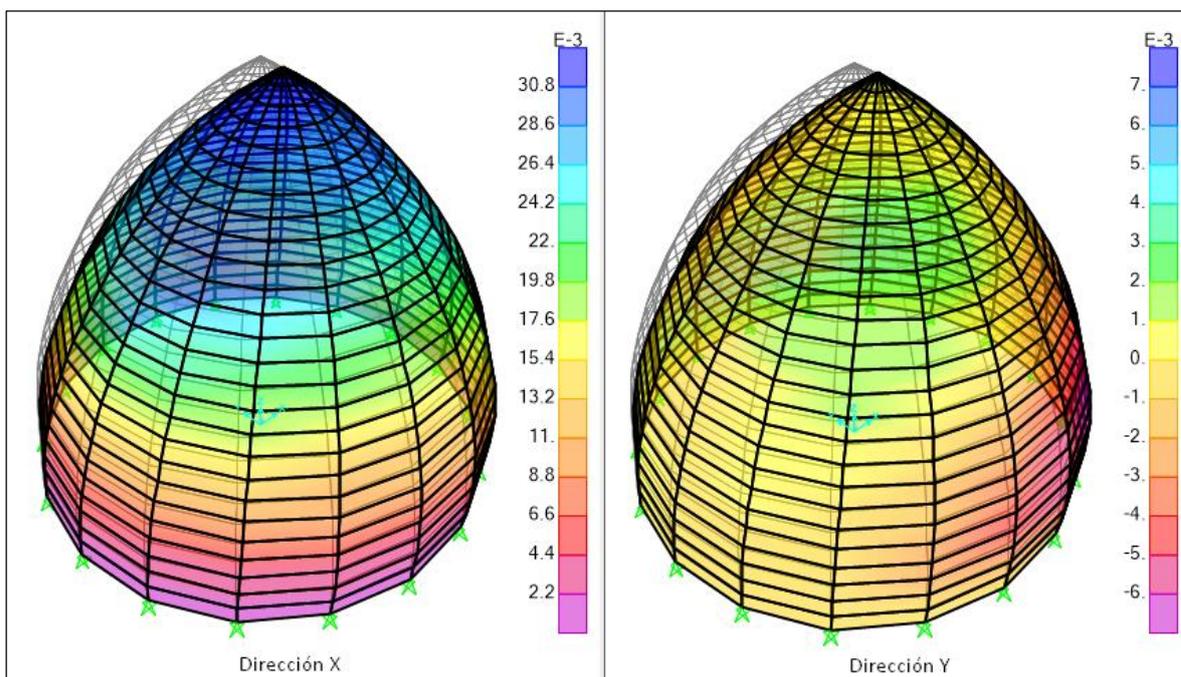


Figura 41: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo apuntado 1.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 6: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 1.

Dirección		DESPLAZAMIENTO (cm)	N° de Hilada
X	Máx.	3.132	26
	Mín.	0.102	1
Y	Máx.	3.132	26
	Mín.	0.102	1

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

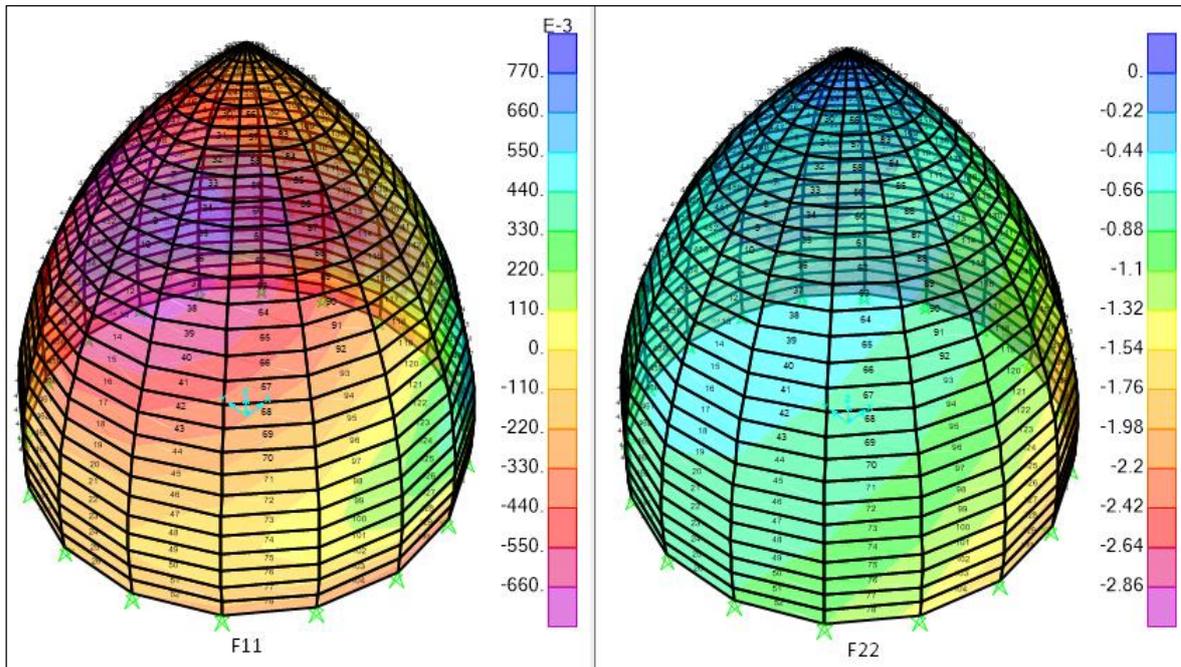


Figura 42: Fuerzas meridianales (F22) y perimetales (F11) en el Eco-domo apuntado 1.

Fuente: SAP2000, 2018.

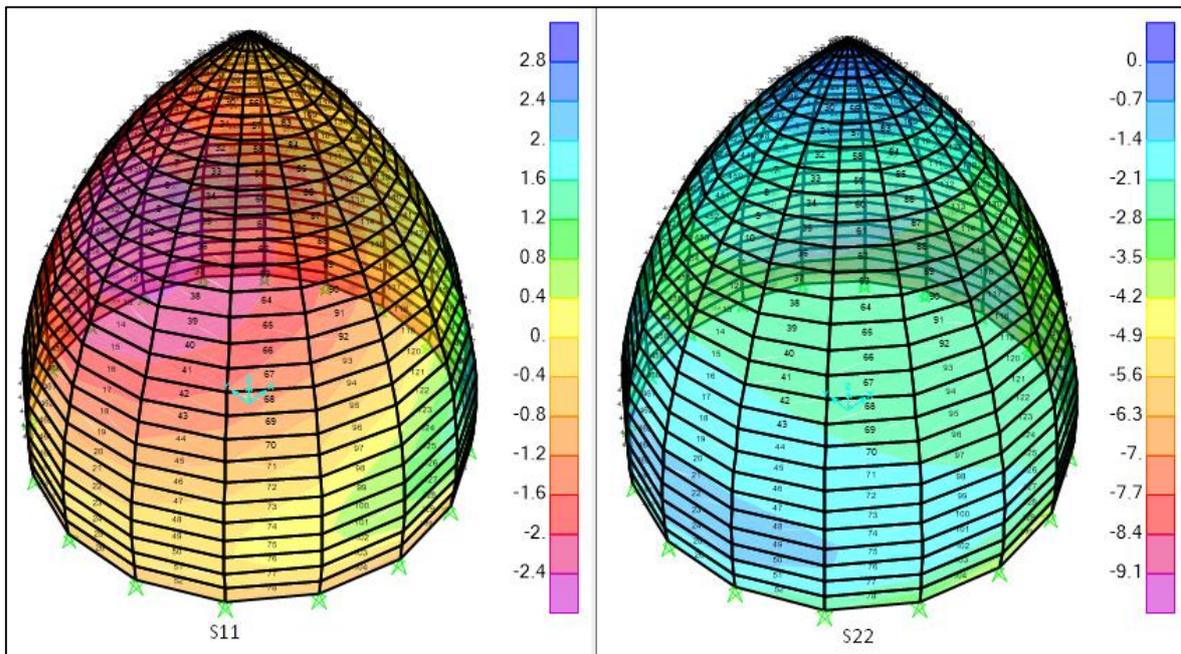


Figura 43: Esfuerzos meridianales (S22) y perimetales (S11) en el Eco-domo apuntado 1.

Fuente: SAP2000, 2018.

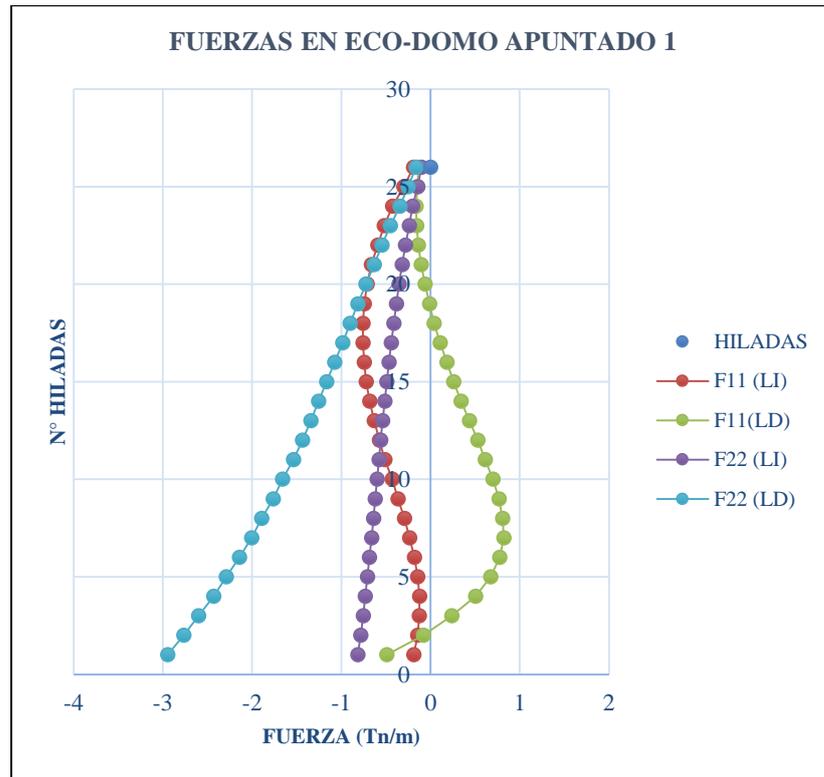
Tabla 7: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 1.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
26	-0.190	-0.138	-0.103	-0.164
25	-0.300	-0.144	-0.144	-0.251
24	-0.426	-0.162	-0.201	-0.343
23	-0.519	-0.156	-0.240	-0.452
22	-0.593	-0.136	-0.281	-0.545
21	-0.665	-0.105	-0.319	-0.631
20	-0.711	-0.060	-0.352	-0.726
19	-0.744	-0.013	-0.383	-0.815
18	-0.759	0.039	-0.412	-0.900
17	-0.756	0.109	-0.439	-0.984
16	-0.743	0.184	-0.466	-1.075
15	-0.722	0.260	-0.489	-1.165
14	-0.683	0.341	-0.513	-1.256
13	-0.632	0.437	-0.537	-1.343
12	-0.572	0.528	-0.558	-1.437
11	-0.511	0.611	-0.578	-1.536
10	-0.431	0.700	-0.598	-1.660
9	-0.365	0.766	-0.620	-1.764
8	-0.292	0.809	-0.640	-1.894
7	-0.233	0.820	-0.661	-2.005
6	-0.182	0.775	-0.684	-2.142
5	-0.144	0.673	-0.707	-2.289
4	-0.124	0.504	-0.732	-2.431
3	-0.125	0.238	-0.755	-2.600
2	-0.144	-0.079	-0.784	-2.765
1	-0.189	-0.492	-0.814	-2.945

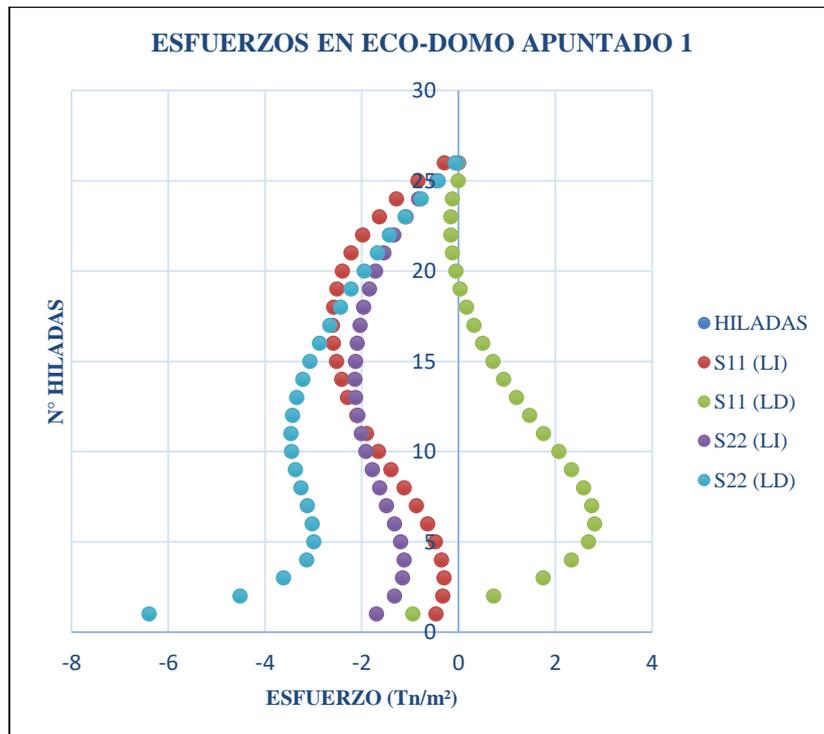
Tabla 8: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 1.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
26	-0.295	-0.03	-0.052	-0.065
25	-0.838	-0.007	-0.453	-0.422
24	-1.284	-0.126	-0.827	-0.776
23	-1.635	-0.164	-1.087	-1.103
22	-1.986	-0.161	-1.335	-1.428
21	-2.222	-0.125	-1.541	-1.678
20	-2.401	-0.055	-1.714	-1.947
19	-2.517	0.035	-1.842	-2.226
18	-2.582	0.164	-1.965	-2.44
17	-2.608	0.321	-2.037	-2.663
16	-2.586	0.499	-2.097	-2.877
15	-2.521	0.71	-2.131	-3.073
14	-2.418	0.929	-2.142	-3.223
13	-2.298	1.196	-2.132	-3.348
12	-2.1	1.471	-2.081	-3.431
11	-1.904	1.757	-2.011	-3.467
10	-1.656	2.072	-1.916	-3.455
9	-1.398	2.331	-1.785	-3.373
8	-1.125	2.587	-1.634	-3.262
7	-0.875	2.754	-1.490	-3.124
6	-0.64	2.813	-1.324	-3.026
5	-0.48	2.687	-1.200	-2.995
4	-0.355	2.334	-1.128	-3.139
3	-0.299	1.745	-1.156	-3.621
2	-0.327	0.724	-1.328	-4.52
1	-0.464	-0.944	-1.697	-6.4

Gráfica 1: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 1.



Gráfica 2: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 1.



3.1.1.2. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 2

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

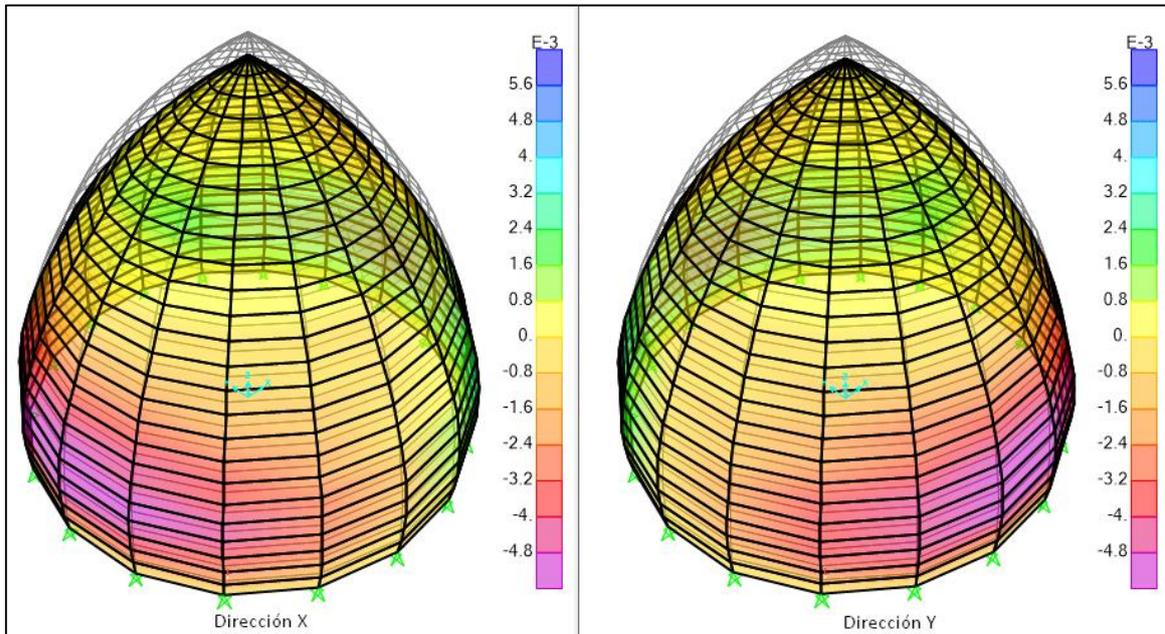


Figura 44: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo apuntado 2.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 9: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 2.

Dirección		Desplazamiento (cm)	Nº de Hilada
X	Máx.	0.552	4
	Mín.	9.105E-13	25
Y	Máx.	0.552	4
	Mín.	9.105E-13	25

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

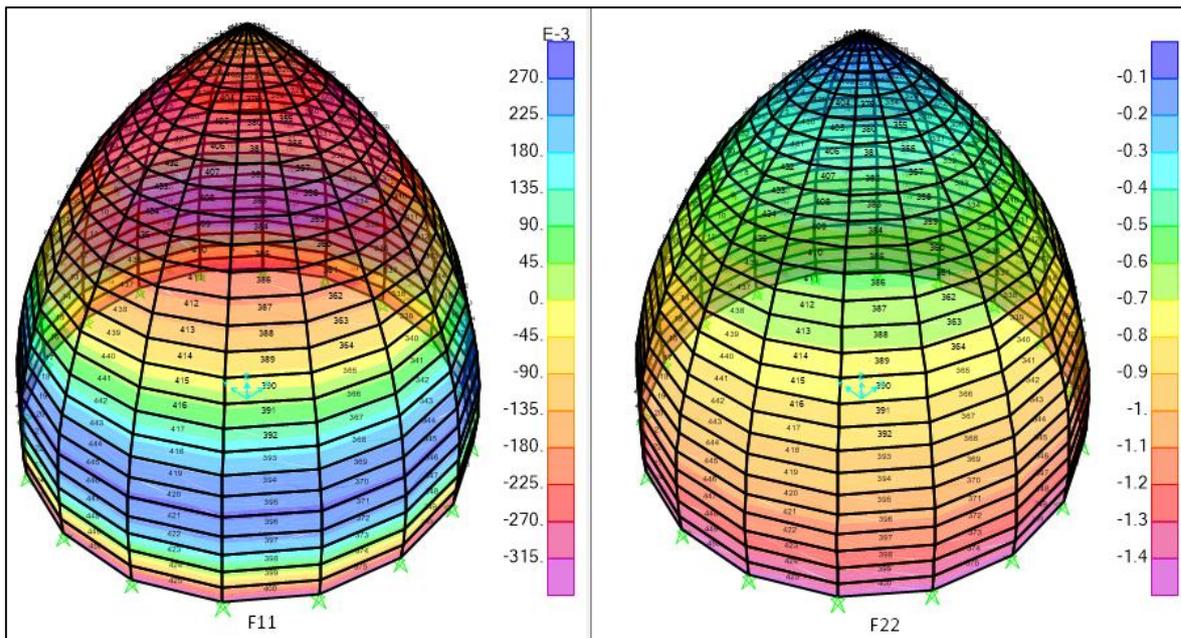


Figura 45: Fuerzas meridianales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo apuntado 2.

Fuente: SAP2000, 2018.

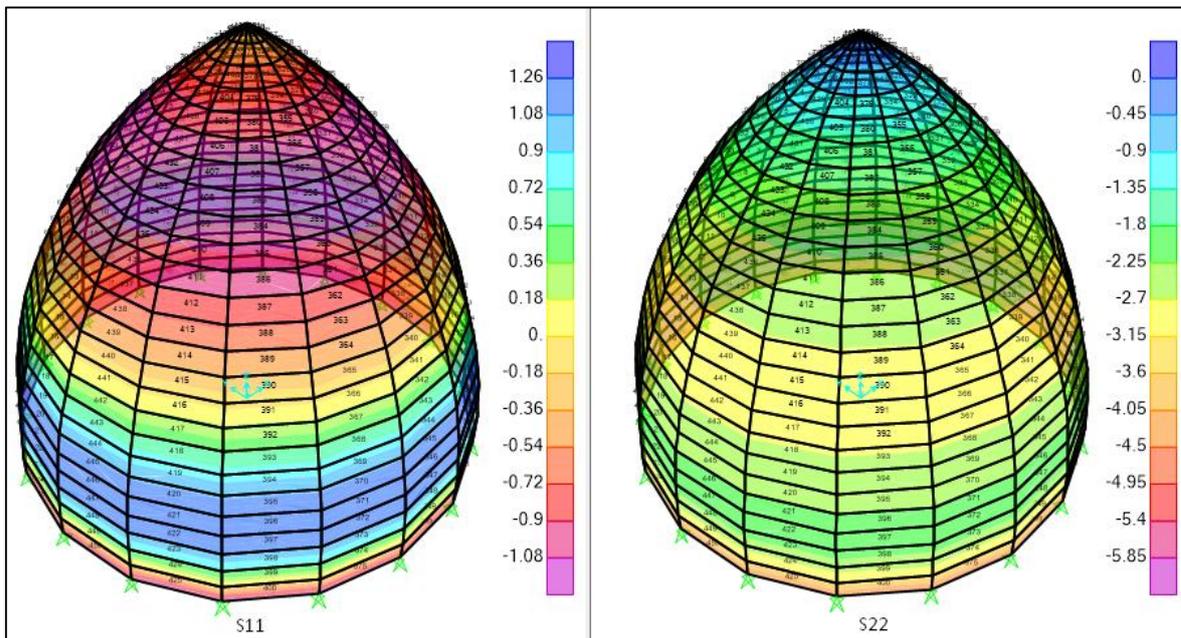


Figura 46: Esfuerzos meridianales (S11) y perimetrales (S22) en el Eco-domo apuntado 2.

Fuente: SAP2000, 2018.

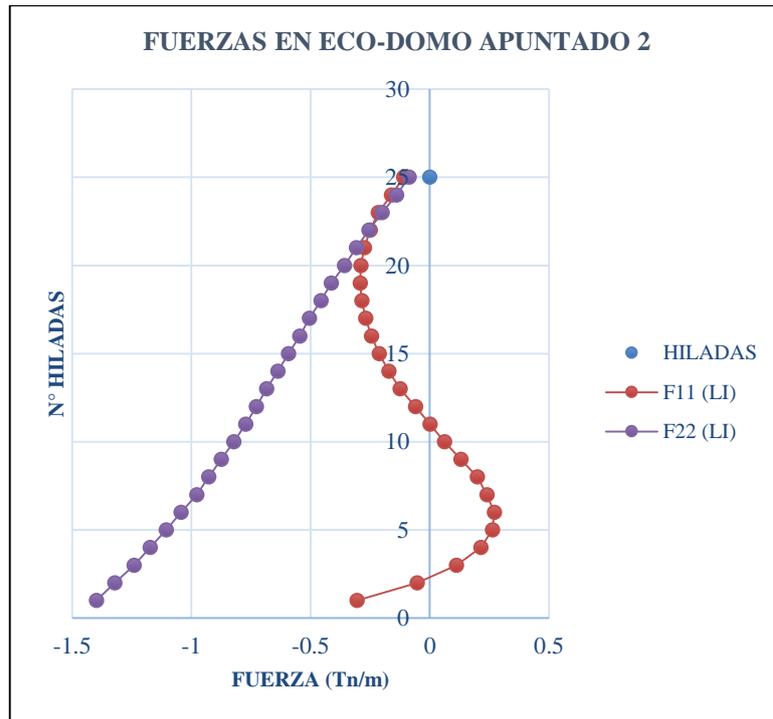
Tabla 10: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 2.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
25		-0.110		-0.087
24		-0.161		-0.139
23		-0.216		-0.200
22		-0.250		-0.255
21		-0.275		-0.308
20		-0.289		-0.358
19		-0.292		-0.414
18		-0.285		-0.456
17		-0.269		-0.505
16		-0.245		-0.546
15		-0.213		-0.593
14		-0.172		-0.638
13		-0.125		-0.685
12		-0.060		-0.728
11		0.001		-0.772
10		0.062		-0.822
9		0.131		-0.875
8		0.199		-0.927
7		0.240		-0.978
6		0.271		-1.044
5		0.262		-1.105
4		0.214		-1.173
3		0.111		-1.241
2		-0.053		-1.322
1		-0.305		-1.399

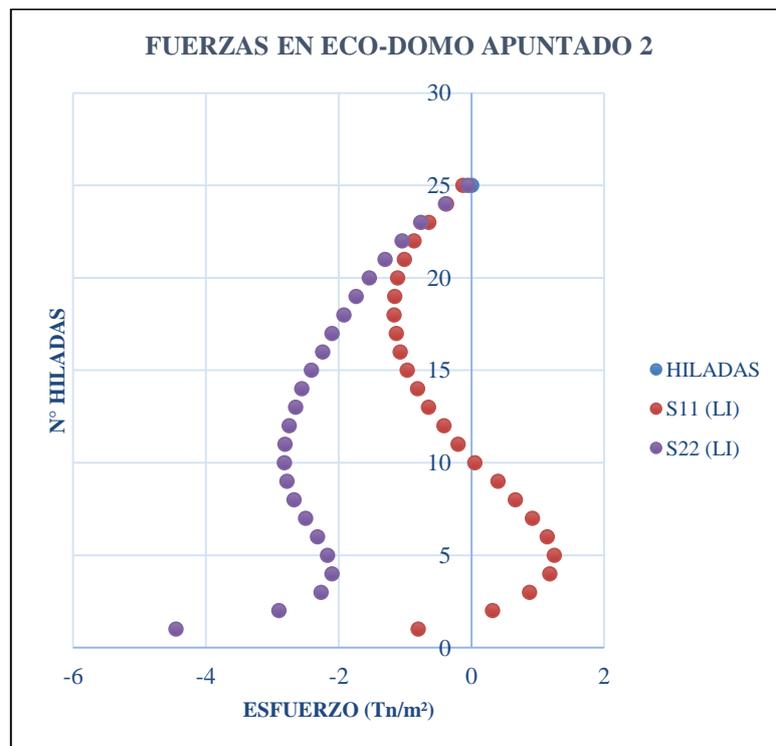
Tabla 11: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 2.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
25	-0.130		-0.056	
24	-0.375		-0.390	
23	-0.644		-0.765	
22	-0.865		-1.043	
21	-1.010		-1.300	
20	-1.112		-1.540	
19	-1.157		-1.736	
18	-1.165		-1.920	
17	-1.130		-2.100	
16	-1.075		-2.240	
15	-0.970		-2.412	
14	-0.815		-2.557	
13	-0.647		-2.651	
12	-0.417		-2.744	
11	-0.202		-2.811	
10	0.050		-2.820	
9	0.400		-2.778	
8	0.661		-2.674	
7	0.915		-2.501	
6	1.138		-2.319	
5	1.245		-2.167	
4	1.180		-2.100	
3	0.875		-2.267	
2	0.317		-2.900	
1	-0.805		-4.450	

Gráfica 3: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 2.



Gráfica 4: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 2.



3.1.1.3. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 3

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

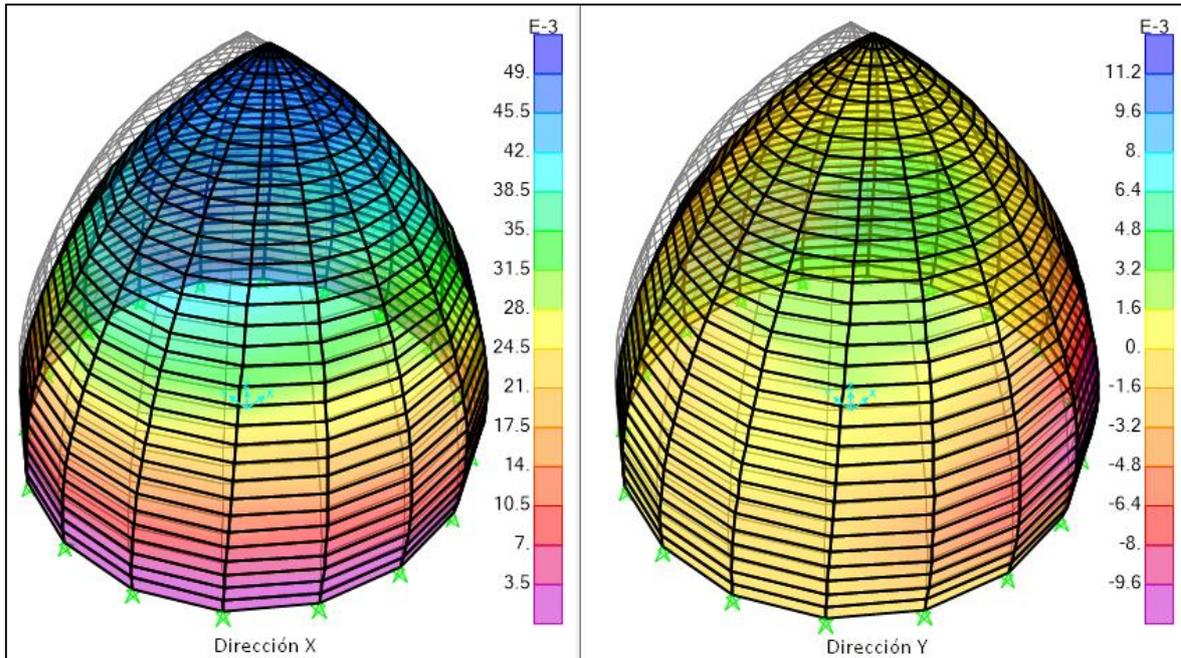


Figura 47: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo apuntado 3.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 12: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 3.

Dirección		Desplazamiento (cm)	Nº de Hilada
X	Máx.	4.864	32
	Mín.	0.122	1
Y	Máx.	4.864	32
	Mín.	0.122	1

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

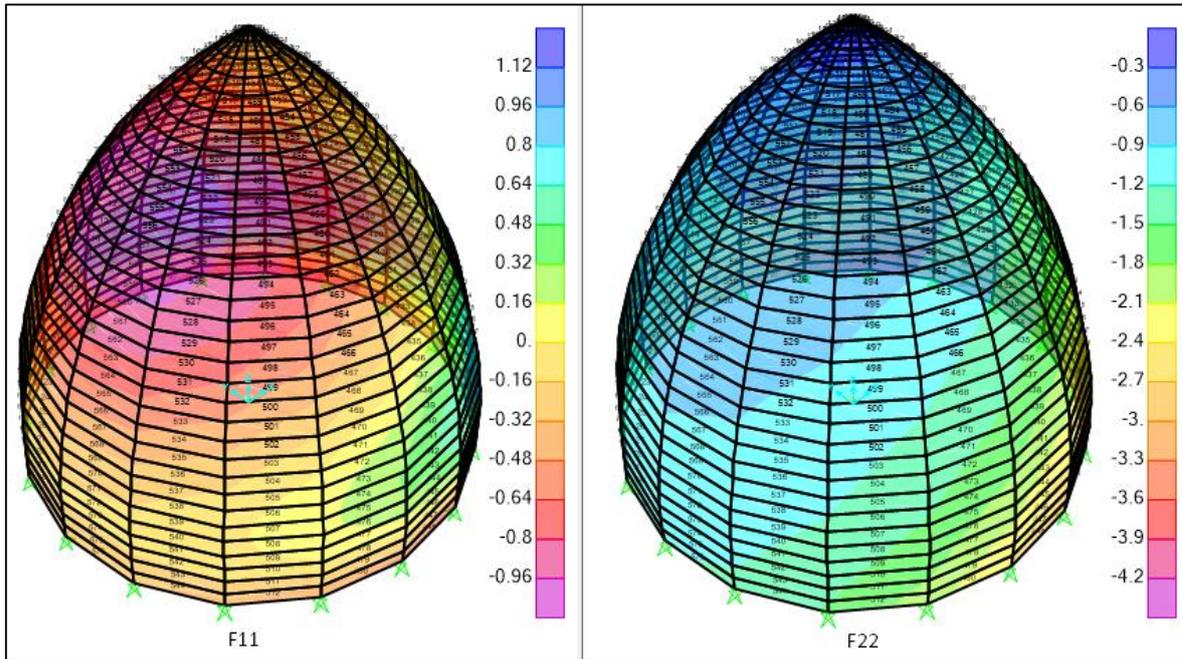


Figura 48: Fuerzas meridionales (F22) y perimetales (F11) en el Eco-domo apuntado 3.

Fuente: SAP2000, 2018.

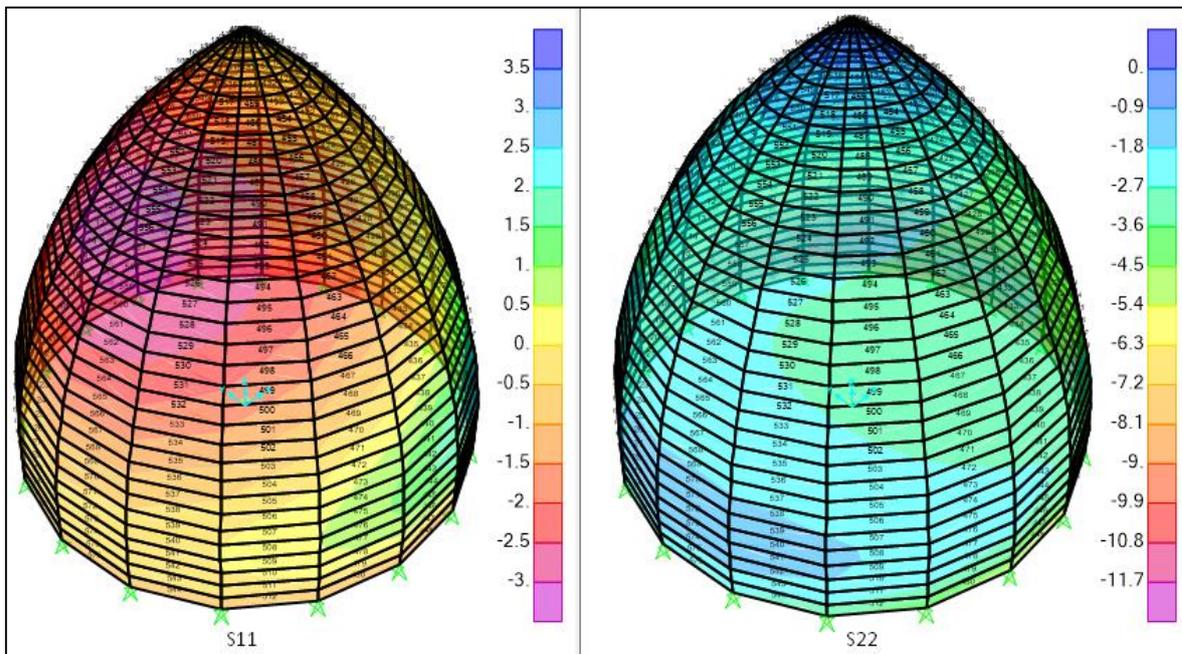


Figura 49: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetales (S11) en el Eco-domo apuntado 3.

Fuente: SAP2000, 2018.

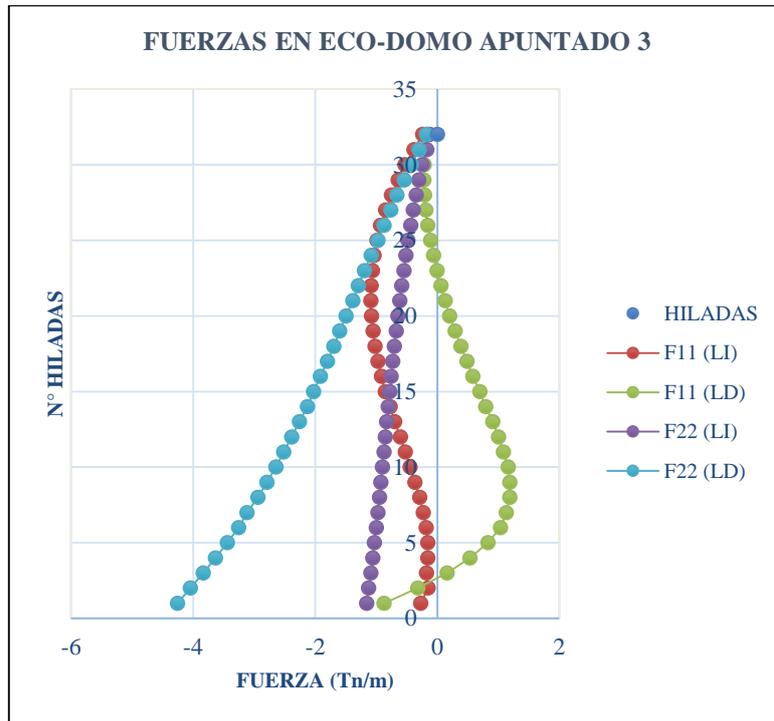
Tabla 13: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 3.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
32	-0.242	-0.170	-0.125	-0.175
31	-0.383	-0.185	-0.170	-0.297
30	-0.532	-0.215	-0.245	-0.425
29	-0.640	-0.220	-0.302	-0.540
28	-0.750	-0.210	-0.345	-0.663
27	-0.845	-0.189	-0.395	-0.760
26	-0.930	-0.158	-0.435	-0.875
25	-0.988	-0.110	-0.480	-0.975
24	-1.037	-0.062	-0.515	-1.085
23	-1.065	-0.005	-0.548	-1.192
22	-1.085	0.060	-0.585	-1.294
21	-1.088	0.130	-0.615	-1.385
20	-1.077	0.205	-0.645	-1.495
19	-1.052	0.290	-0.675	-1.600
18	-1.020	0.385	-0.703	-1.695
17	-0.975	0.485	-0.730	-1.803
16	-0.915	0.580	-0.755	-1.915
15	-0.850	0.700	-0.780	-2.025
14	-0.772	0.795	-0.805	-2.130
13	-0.700	0.908	-0.830	-2.260
12	-0.605	1.005	-0.852	-2.385
11	-0.525	1.085	-0.875	-2.517
10	-0.445	1.160	-0.900	-2.645
9	-0.365	1.190	-0.925	-2.790
8	-0.285	1.187	-0.945	-2.940
7	-0.230	1.130	-0.975	-3.120
6	-0.180	1.035	-1.000	-3.255
5	-0.157	0.832	-1.031	-3.440
4	-0.154	0.536	-1.055	-3.635
3	-0.175	0.160	-1.087	-3.835
2	-0.150	-0.320	-1.128	-4.045
1	-0.270	-0.875	-1.155	-4.255

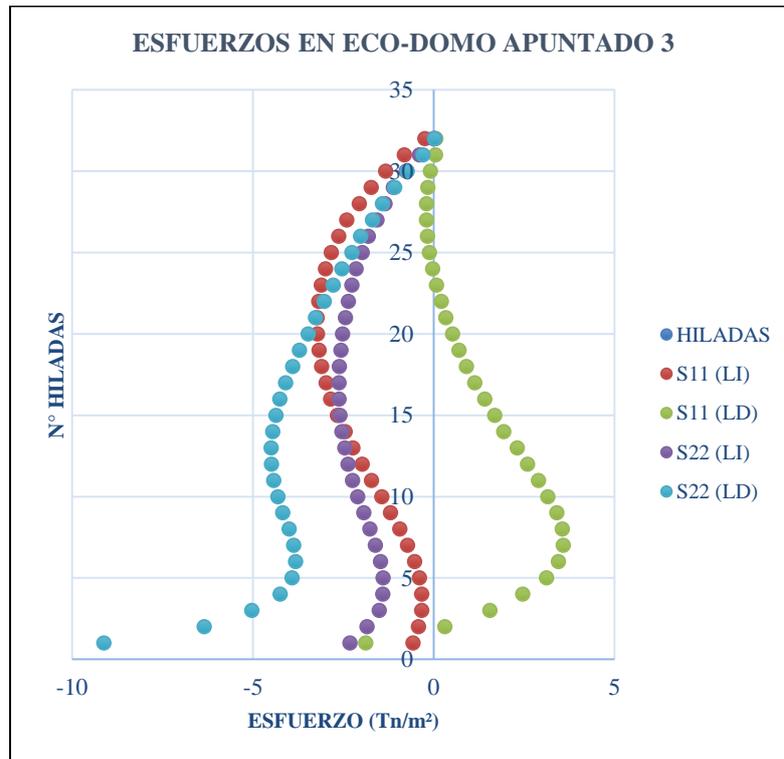
Tabla 14: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 3.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
32	-0.239	0.062	0.028	0.028
31	-0.812	0.058	-0.393	-0.297
30	-1.325	-0.085	-0.759	-0.726
29	-1.723	-0.158	-1.108	-1.078
28	-2.056	-0.198	-1.344	-1.414
27	-2.398	-0.192	-1.564	-1.694
26	-2.627	-0.165	-1.802	-2.015
25	-2.832	-0.111	-1.975	-2.262
24	-2.990	-0.028	-2.140	-2.533
23	-3.107	0.082	-2.255	-2.778
22	-3.178	0.216	-2.357	-3.027
21	-3.216	0.338	-2.440	-3.269
20	-3.208	0.521	-2.517	-3.465
19	-3.165	0.699	-2.566	-3.711
18	-3.092	0.907	-2.603	-3.894
17	-2.970	1.135	-2.616	-4.090
16	-2.842	1.418	-2.612	-4.251
15	-2.661	1.692	-2.586	-4.359
14	-2.443	1.941	-2.538	-4.450
13	-2.229	2.311	-2.456	-4.490
12	-1.976	2.594	-2.364	-4.479
11	-1.715	2.902	-2.242	-4.423
10	-1.435	3.161	-2.100	-4.307
9	-1.192	3.412	-1.930	-4.172
8	-0.936	3.558	-1.757	-3.995
7	-0.719	3.582	-1.612	-3.873
6	-0.526	3.451	-1.466	-3.814
5	-0.391	3.119	-1.394	-3.911
4	-0.325	2.469	-1.404	-4.243
3	-0.330	1.560	-1.505	-5.025
2	-0.418	0.313	-1.838	-6.345
1	-0.570	-1.880	-2.313	-9.119

Gráfica 5: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 3.



Gráfica 6: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 3.



3.1.1.4. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival apuntado 4

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

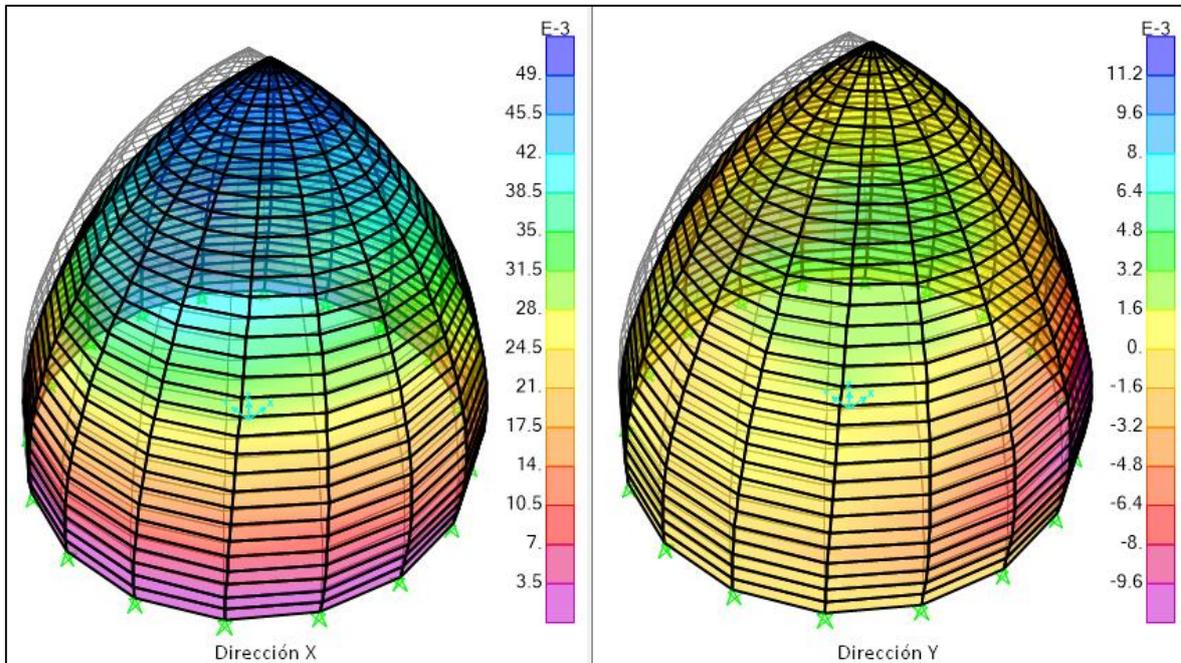


Figura 50: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo 4.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 15: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo apuntado 4.

Dirección	Desplazamiento (cm)		Nº de Hilada
X	Máx.	4.765	32
	Mín.	0.114	3
Y	Máx.	4.765	32
	Mín.	0.114	3

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

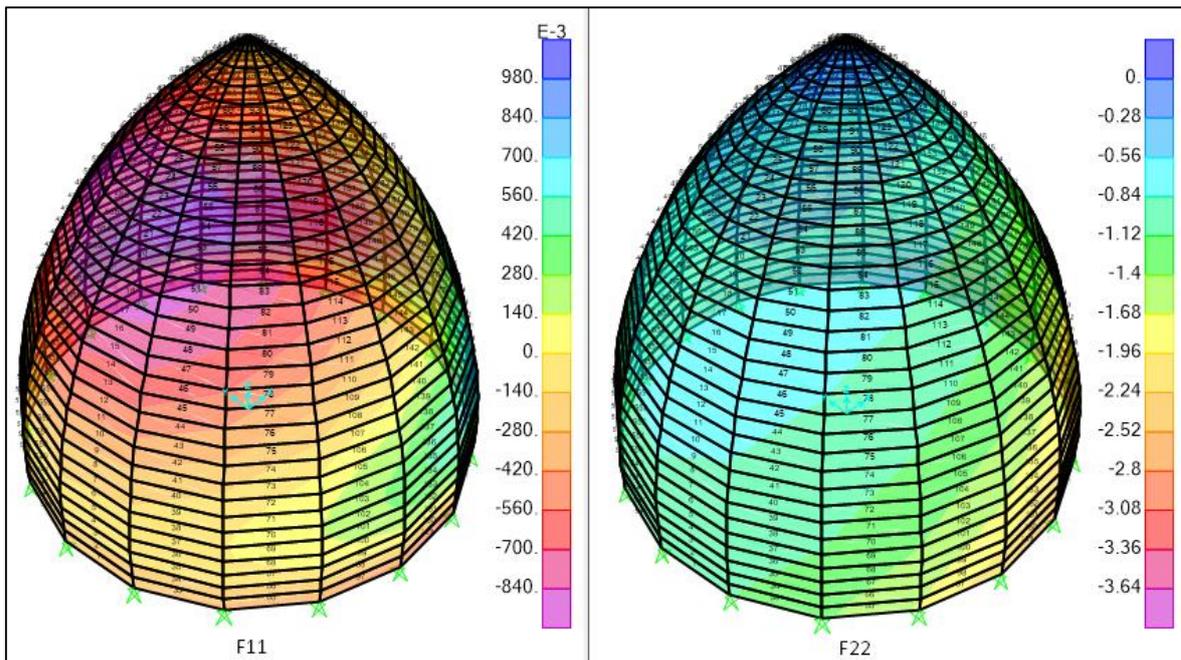


Figura 51: Fuerzas meridionales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo apuntado 4.

Fuente: SAP2000, 2018.

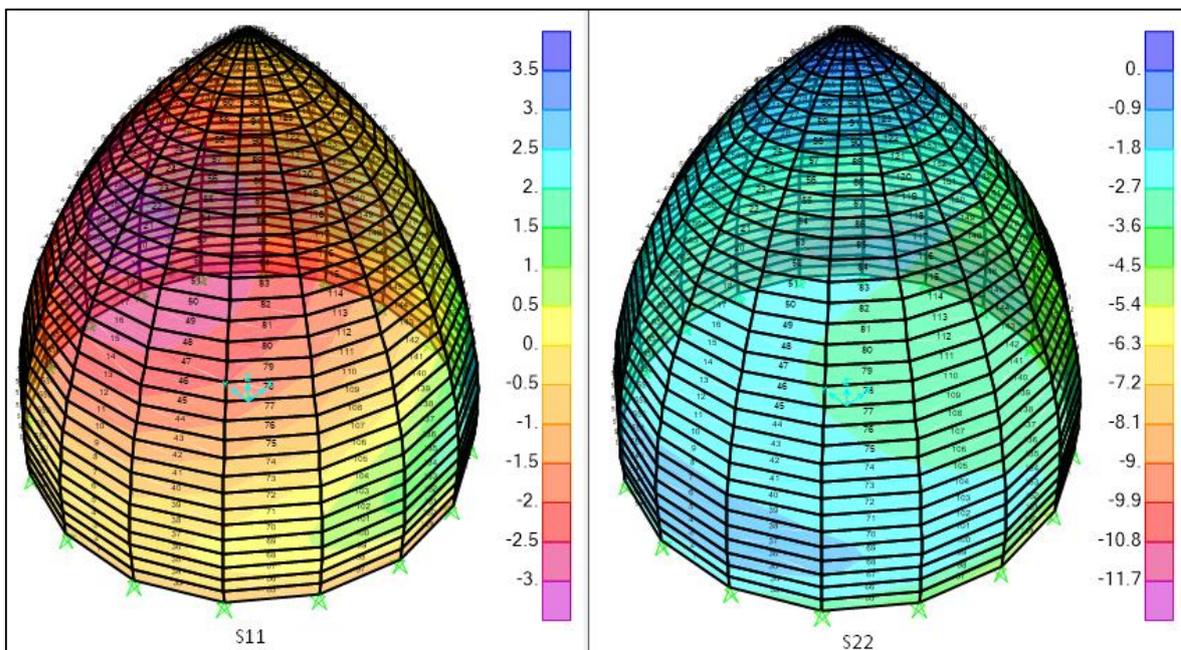


Figura 52: Esfuerzos meridionales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo apuntado 4.

Fuente: SAP2000, 2018.

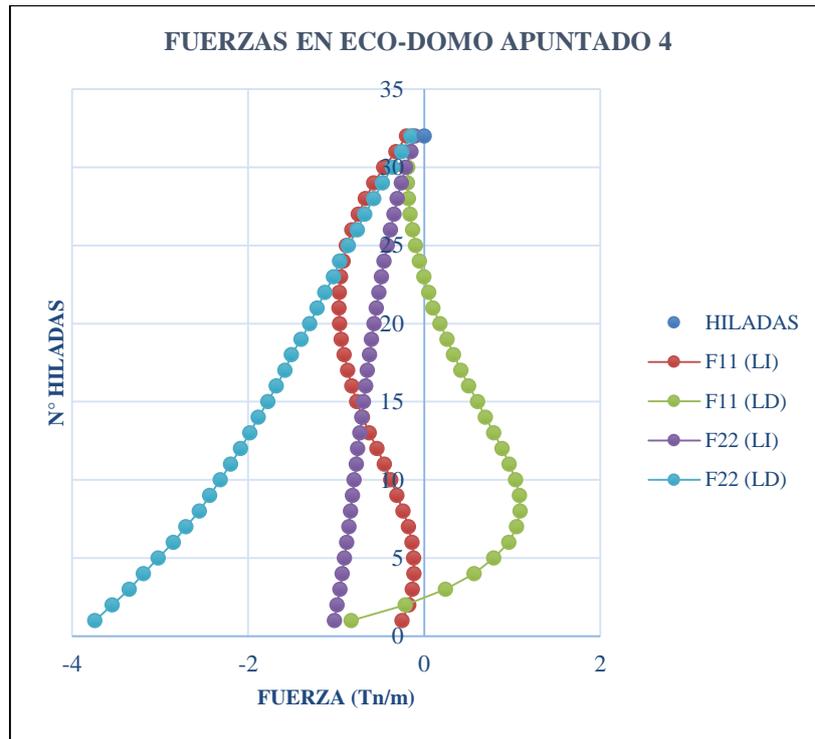
Tabla 16: Fuerzas internas de Eco-domo apuntado 4.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
32	-0.200	-0.140	-0.105	-0.150
31	-0.320	-0.160	-0.150	-0.255
30	-0.460	-0.185	-0.210	-0.360
29	-0.575	-0.188	-0.258	-0.475
28	-0.670	-0.180	-0.305	-0.575
27	-0.750	-0.160	-0.344	-0.675
26	-0.820	-0.130	-0.385	-0.760
25	-0.883	-0.100	-0.420	-0.860
24	-0.922	-0.055	-0.455	-0.960
23	-0.950	-0.005	-0.485	-1.030
22	-0.965	0.050	-0.515	-1.130
21	-0.968	0.100	-0.545	-1.215
20	-0.960	0.180	-0.570	-1.300
19	-0.942	0.260	-0.598	-1.400
18	-0.910	0.332	-0.620	-1.510
17	-0.870	0.415	-0.645	-1.580
16	-0.820	0.505	-0.665	-1.680
15	-0.765	0.605	-0.690	-1.775
14	-0.700	0.695	-0.710	-1.885
13	-0.625	0.790	-0.730	-1.980
12	-0.535	0.885	-0.755	-2.085
11	-0.454	0.965	-0.770	-2.200
10	-0.380	1.038	-0.795	-2.315
9	-0.310	1.080	-0.815	-2.435
8	-0.240	1.088	-0.835	-2.554
7	-0.180	1.050	-0.855	-2.706
6	-0.140	0.960	-0.880	-2.850
5	-0.120	0.790	-0.905	-3.020
4	-0.115	0.565	-0.930	-3.190
3	-0.135	0.240	-0.955	-3.350
2	-0.175	-0.215	-0.988	-3.542
1	-0.250	-0.830	-1.020	-3.740

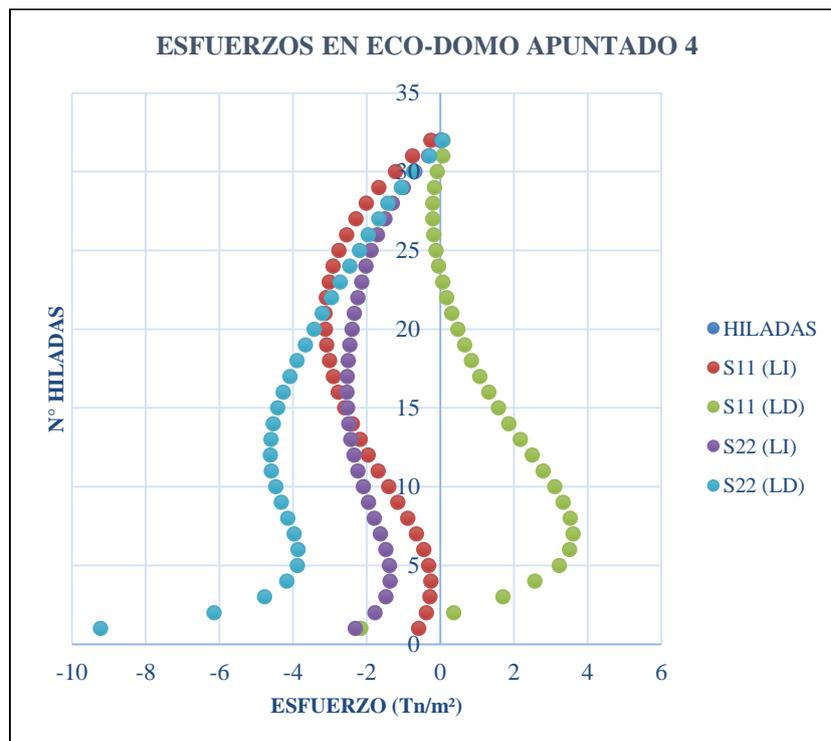
Tabla 17: Esfuerzos internos de Eco-domo apuntado 4.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
32	-0.250	0.080	0.038	0.060
31	-0.750	0.075	-0.315	-0.290
30	-1.210	-0.075	-0.685	-0.725
29	-1.665	-0.160	-1.005	-1.055
28	-2.010	-0.200	-1.300	-1.425
27	-2.285	-0.198	-1.505	-1.667
26	-2.540	-0.170	-1.702	-1.954
25	-2.748	-0.112	-1.877	-2.190
24	-2.905	-0.038	-2.012	-2.450
23	-3.015	0.070	-2.134	-2.715
22	-3.090	0.180	-2.238	-2.950
21	-3.125	0.315	-2.328	-3.200
20	-3.120	0.485	-2.395	-3.425
19	-3.080	0.665	-2.455	-3.655
18	-3.005	0.850	-2.495	-3.885
17	-2.895	1.075	-2.522	-4.075
16	-2.765	1.320	-2.529	-4.262
15	-2.590	1.580	-2.517	-4.408
14	-2.385	1.860	-2.480	-4.530
13	-2.175	2.180	-2.430	-4.596
12	-1.955	2.495	-2.342	-4.612
11	-1.680	2.795	-2.232	-4.580
10	-1.400	3.115	-2.087	-4.460
9	-1.150	3.340	-1.950	-4.315
8	-0.880	3.534	-1.785	-4.140
7	-0.645	3.607	-1.620	-3.960
6	-0.448	3.515	-1.475	-3.860
5	-0.315	3.230	-1.380	-3.875
4	-0.255	2.570	-1.360	-4.165
3	-0.275	1.705	-1.475	-4.768
2	-0.375	0.370	-1.768	-6.135
1	-0.580	-2.160	-2.304	-9.220

Gráfica 7: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival apuntado 4.



Gráfica 8: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival apuntado 4.



3.1.2. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero.

3.1.2.1. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 1.

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

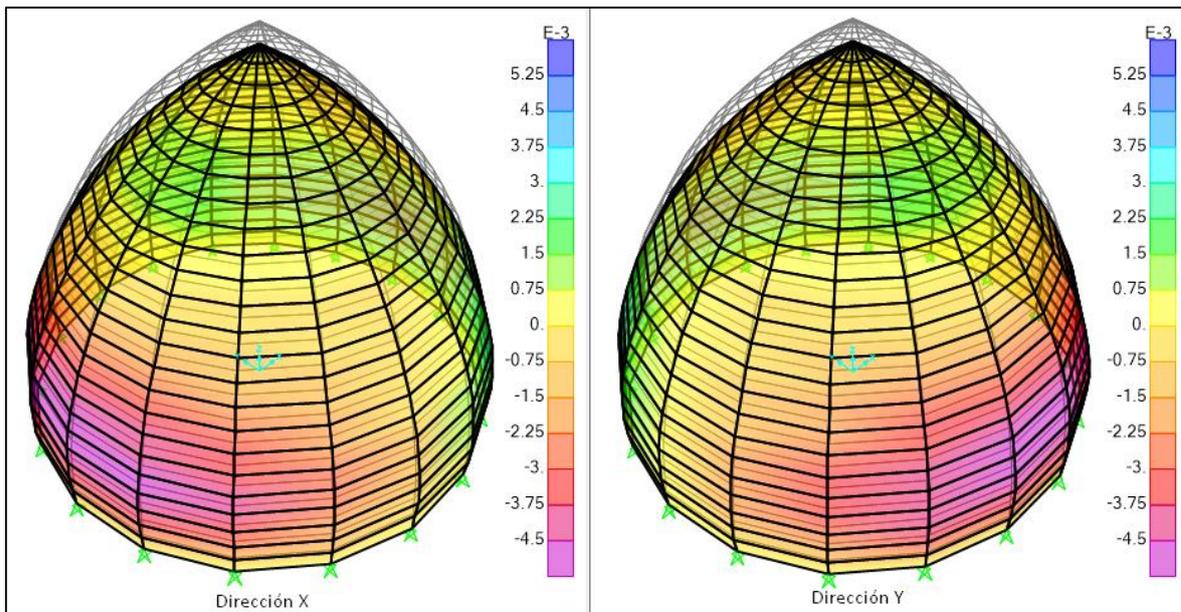


Figura 53: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 1.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 18: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 1.

Dirección		Desplazamiento (cm)	Nº de Hilada
X	Máx.	0.502	5
	Mín.	337E-6	13
Y	Máx.	0.502	5
	Mín.	337E-6	13

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

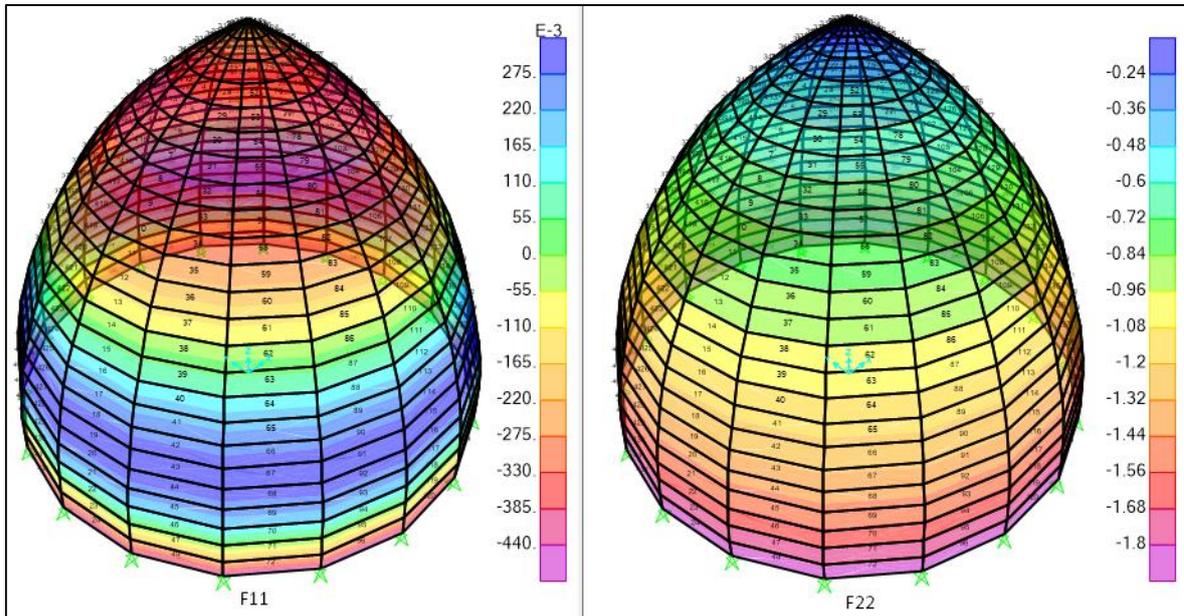


Figura 54: Fuerzas meridianales (F22) y perimetales (F11) en el Eco-domo equilátero 1.

Fuente: SAP2000, 2018.

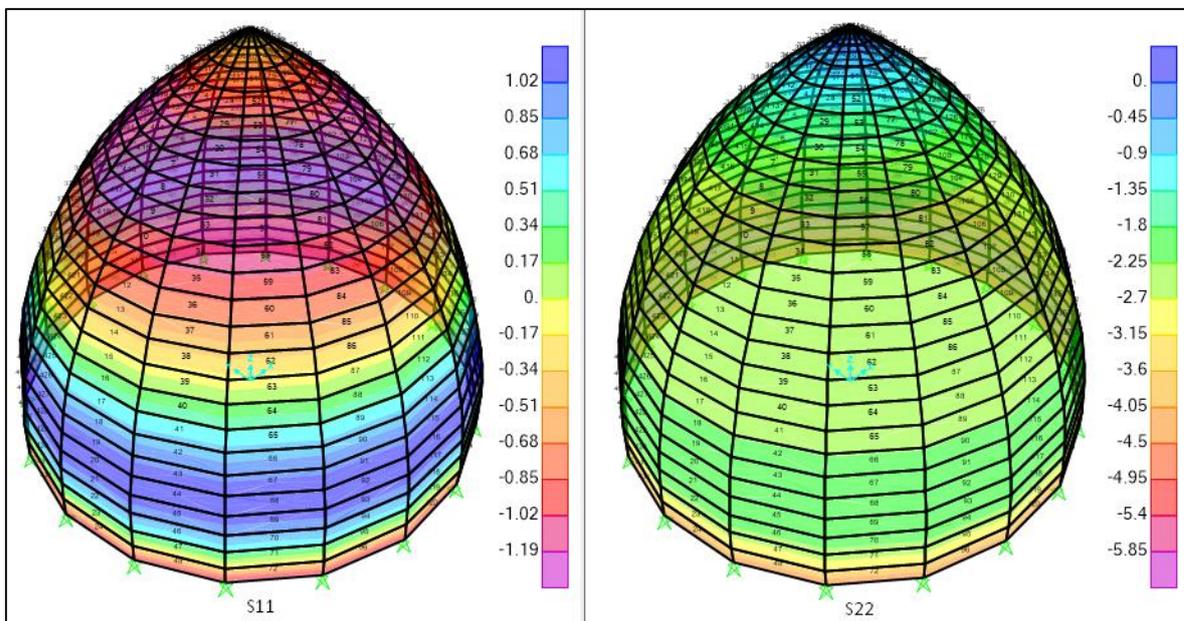


Figura 55: Esfuerzos meridianales (S22) y perimetales (S11) en el Eco-domo equilátero 1.

Fuente: SAP2000, 2018.

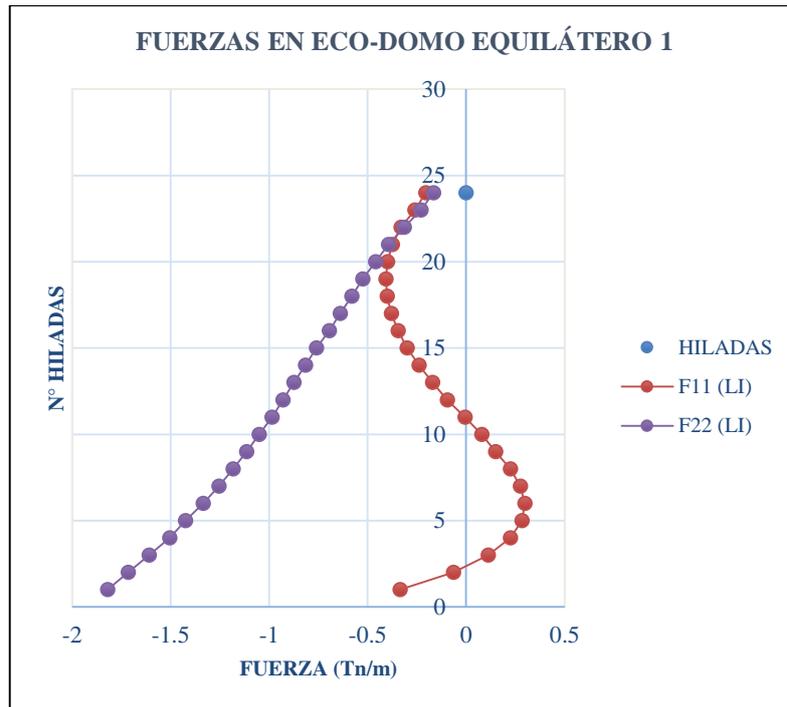
Tabla 19: Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 1.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
24	-0.205		-0.165	
23	-0.260		-0.230	
22	-0.330		-0.315	
21	-0.375		-0.395	
20	-0.400		-0.460	
19	-0.408		-0.525	
18	-0.401		-0.580	
17	-0.380		-0.640	
16	-0.345		-0.695	
15	-0.300		-0.760	
14	-0.240		-0.815	
13	-0.170		-0.875	
12	-0.095		-0.930	
11	-0.006		-0.985	
10	0.080		-1.050	
9	0.150		-1.115	
8	0.225		-1.183	
7	0.275		-1.255	
6	0.298		-1.335	
5	0.283		-1.425	
4	0.224		-1.505	
3	0.112		-1.610	
2	-0.065		-1.715	
1	-0.335		-1.820	

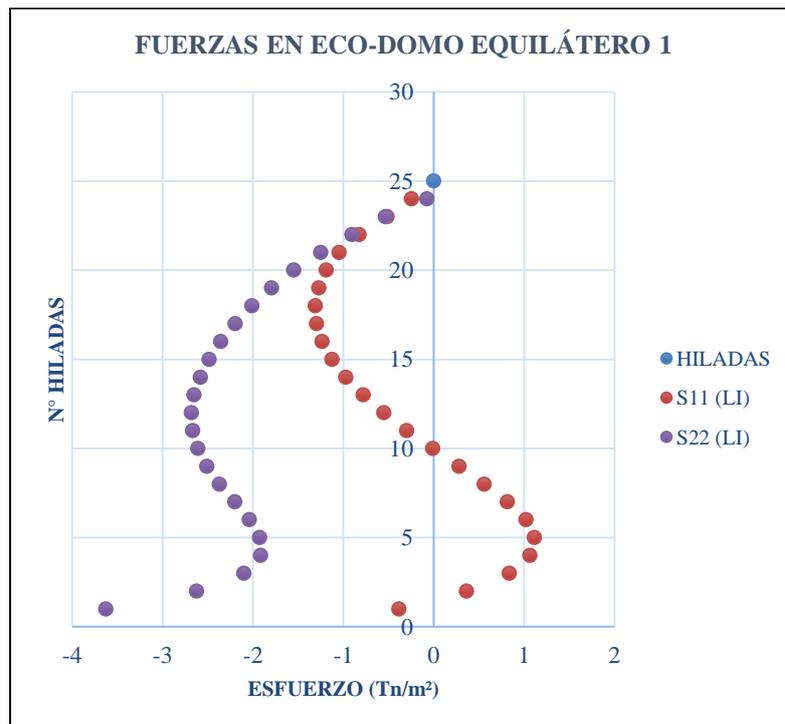
Tabla 20: Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 1.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
24	-0.245		-0.075	
23	-0.515		-0.535	
22	-0.825		-0.905	
21	-1.045		-1.250	
20	-1.190		-1.548	
19	-1.270		-1.795	
18	-1.310		-2.010	
17	-1.295		-2.195	
16	-1.235		-2.355	
15	-1.125		-2.485	
14	-0.970		-2.580	
13	-0.780		-2.650	
12	-0.550		-2.678	
11	-0.300		-2.665	
10	-0.010		-2.610	
9	0.280		-2.510	
8	0.560		-2.370	
7	0.815		-2.200	
6	1.020		-2.040	
5	1.113		-1.924	
4	1.065		-1.914	
3	0.837		-2.101	
2	0.362		-2.624	
1	-0.385		-3.625	

Gráfica 9: Fuerzas Perimetrales (F_{11}) y Fuerzas Meridionales (F_{22}) en Eco-domo arco ojival equilátero 1.



Gráfica 10: Esfuerzos Perimetrales (S_{11}) y Esfuerzos Meridionales (S_{22}) en Eco-domo arco ojival equilátero 1.



3.1.2.2. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 2

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

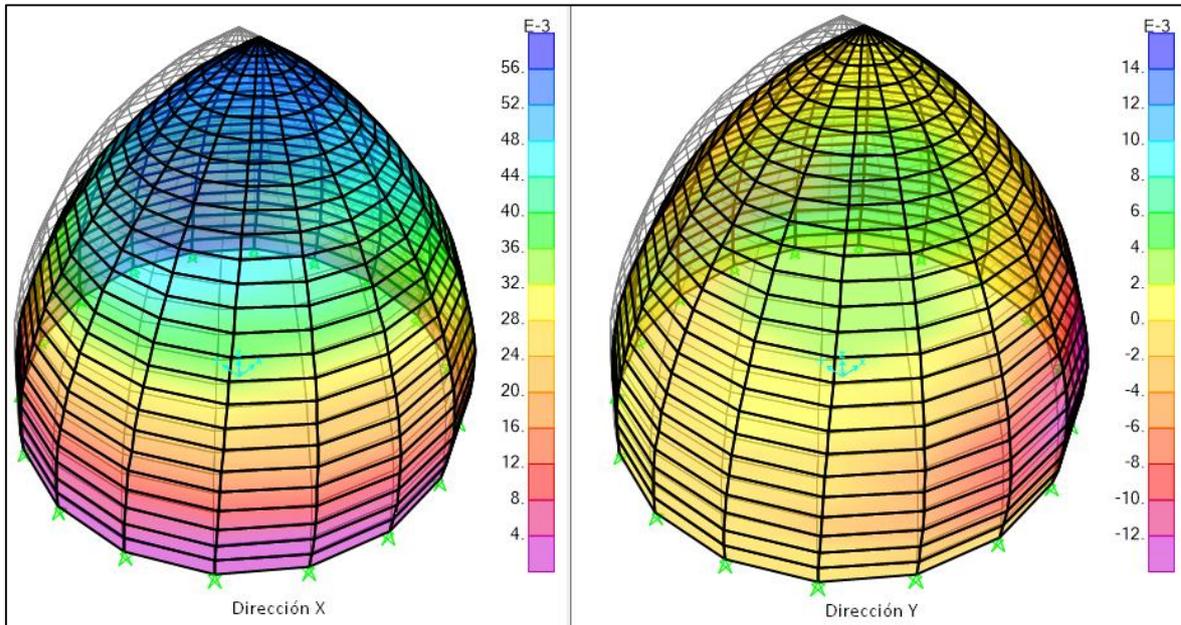


Figura 56: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 2.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 21: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 2.

Dirección	Desplazamiento (cm)	Nº de Hilada
X	Máx.	5.532
	Mín.	0.164
Y	Máx.	5.532
	Mín.	0.164

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

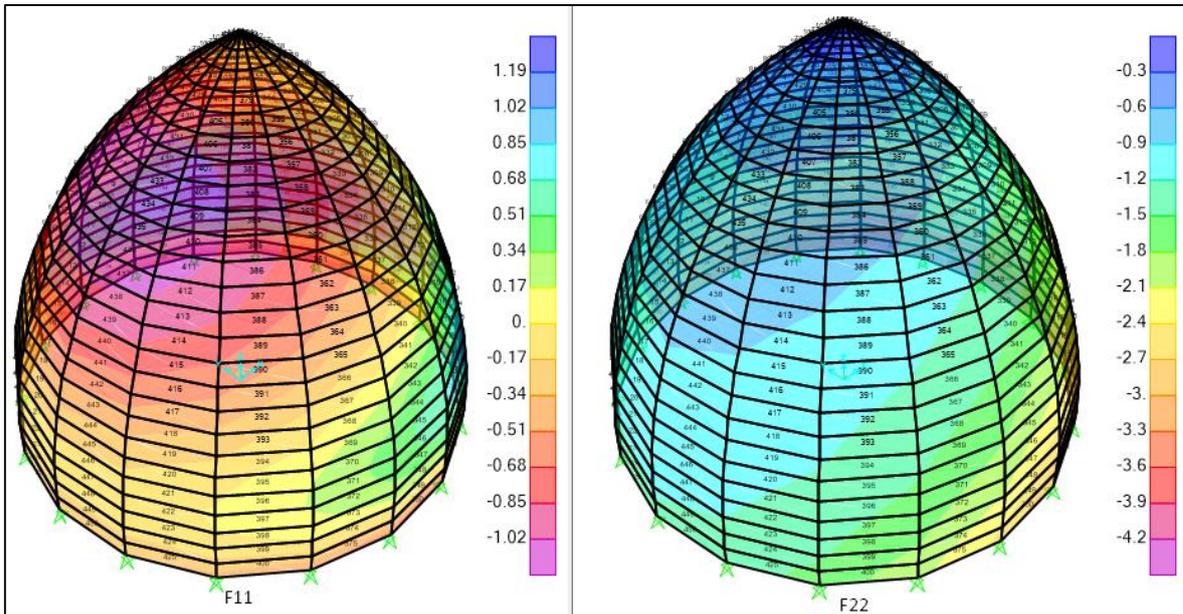


Figura 57: Fuerzas meridianales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo ojival equilátero 2.

Fuente: SAP2000, 2018.

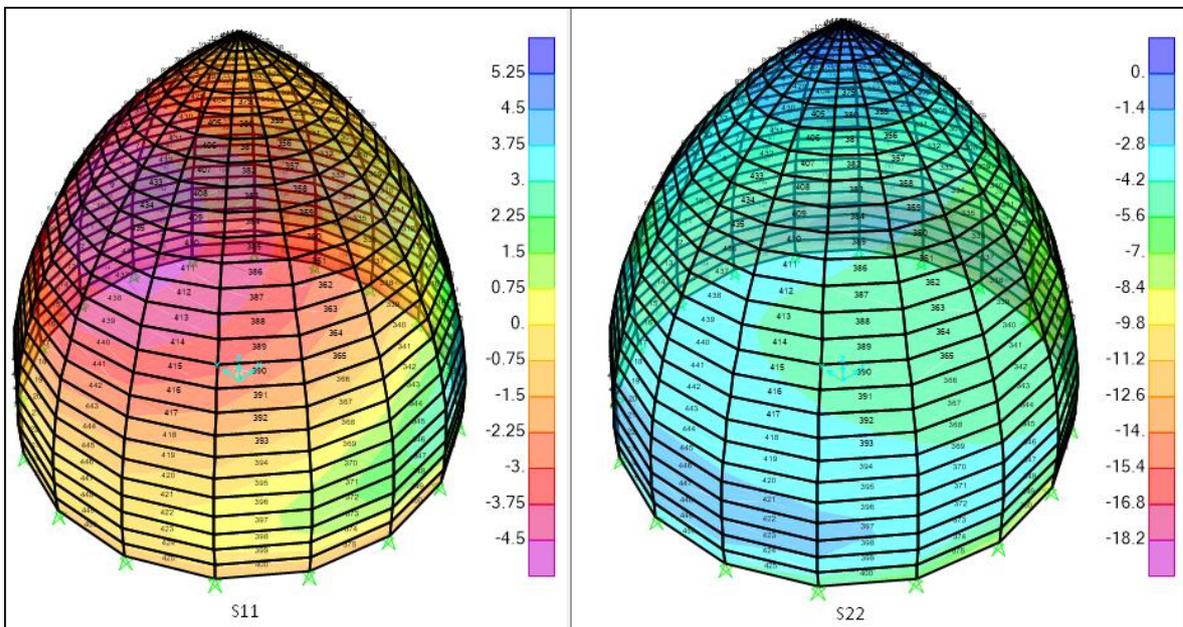


Figura 58: Esfuerzos meridianales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo equilátero 2.

Fuente: SAP2000, 2018.

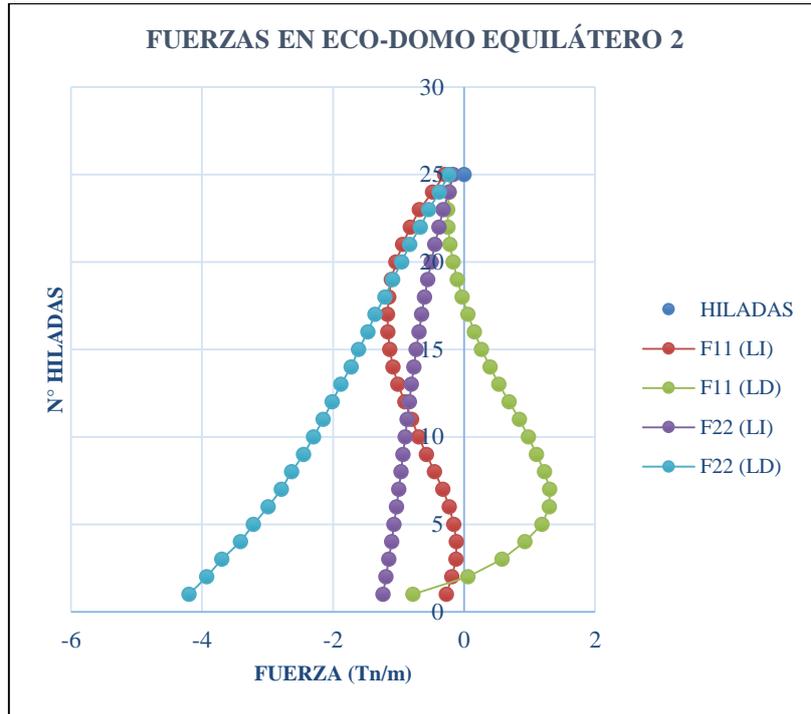
Tabla 22: Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 2.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
25	-0.295	-0.210	-0.165	-0.230
24	-0.480	-0.225	-0.230	-0.380
23	-0.685	-0.252	-0.320	-0.540
22	-0.820	-0.245	-0.385	-0.670
21	-0.940	-0.215	-0.445	-0.830
20	-1.040	-0.168	-0.500	-0.955
19	-1.110	-0.102	-0.555	-1.090
18	-1.150	-0.028	-0.605	-1.210
17	-1.170	0.057	-0.650	-1.360
16	-1.164	0.158	-0.690	-1.470
15	-1.134	0.266	-0.730	-1.610
14	-1.085	0.396	-0.768	-1.725
13	-1.010	0.530	-0.805	-1.880
12	-0.905	0.685	-0.835	-2.015
11	-0.800	0.845	-0.870	-2.150
10	-0.695	0.982	-0.900	-2.300
9	-0.575	1.105	-0.932	-2.450
8	-0.453	1.225	-0.964	-2.630
7	-0.325	1.305	-0.998	-2.790
6	-0.225	1.300	-1.032	-2.990
5	-0.155	1.190	-1.070	-3.215
4	-0.120	0.930	-1.105	-3.415
3	-0.125	0.580	-1.150	-3.700
2	-0.189	0.060	-1.195	-3.930
1	-0.271	-0.780	-1.240	-4.200

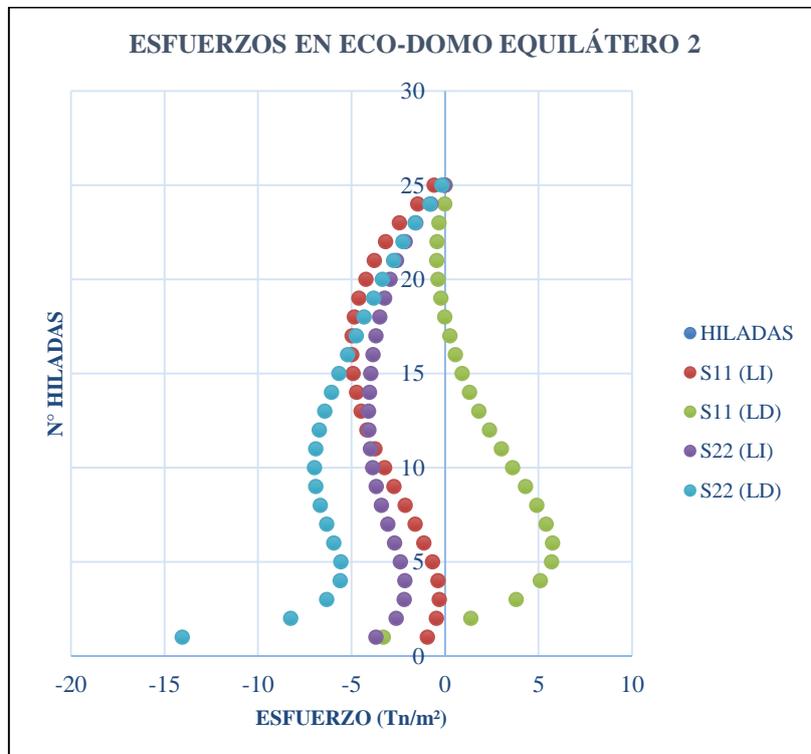
Tabla 23: Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 2.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
25	-0.575	0.010	-0.015	-0.165
24	-1.455	-0.015	-0.755	-0.812
23	-2.432	-0.315	-1.557	-1.605
22	-3.185	-0.435	-2.125	-2.250
21	-3.785	-0.440	-2.587	-2.745
20	-4.234	-0.368	-2.930	-3.348
19	-4.610	-0.226	-3.230	-3.820
18	-4.845	-0.011	-3.484	-4.330
17	-4.960	0.260	-3.695	-4.745
16	-4.985	0.555	-3.845	-5.215
15	-4.910	0.920	-3.970	-5.670
14	-4.735	1.305	-4.045	-6.065
13	-4.480	1.810	-4.085	-6.430
12	-4.175	2.370	-4.068	-6.728
11	-3.740	3.020	-3.995	-6.920
10	-3.235	3.615	-3.860	-6.987
9	-2.725	4.308	-3.675	-6.908
8	-2.130	4.902	-3.400	-6.678
7	-1.590	5.408	-3.065	-6.327
6	-1.130	5.745	-2.690	-5.955
5	-0.675	5.690	-2.388	-5.566
4	-0.382	5.100	-2.155	-5.602
3	-0.298	3.800	-2.180	-6.332
2	-0.460	1.385	-2.605	-8.250
1	-0.940	-3.300	-3.700	-14.050

Gráfica 11: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival equilátero 2.



Gráfica 12: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival equilátero 2.



3.1.2.3. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 3

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

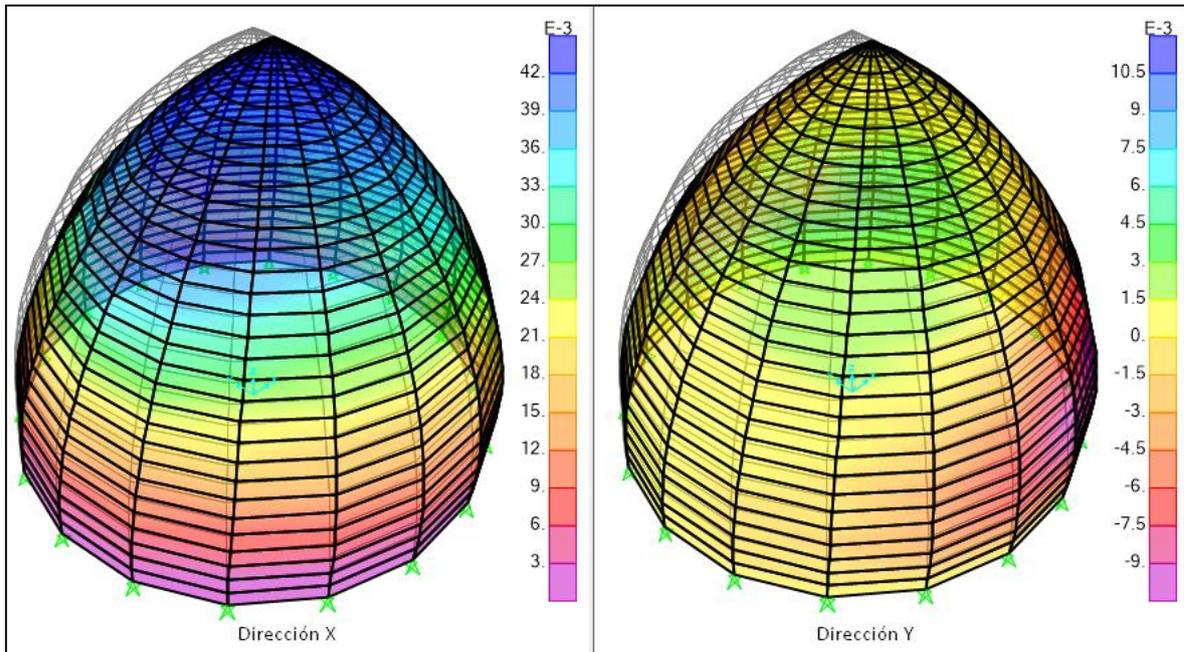


Figura 59: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 3.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 24: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 3.

Dirección	Desplazamiento (cm)	N° de Hilada
X	Máx.	4.412
	Mín.	0.117
Y	Máx.	4.412
	Mín.	0.117

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

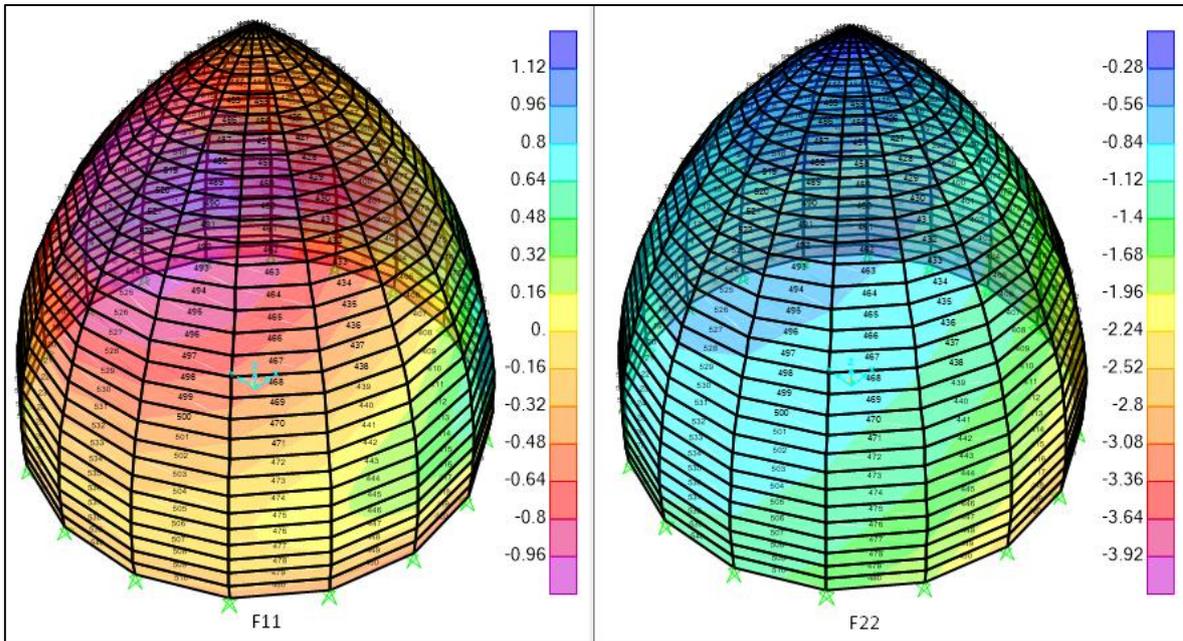


Figura 60: Fuerzas meridianales (F22) y perimetrales (F11) en el Eco-domo ojival equilátero 3.

Fuente: SAP2000, 2018.

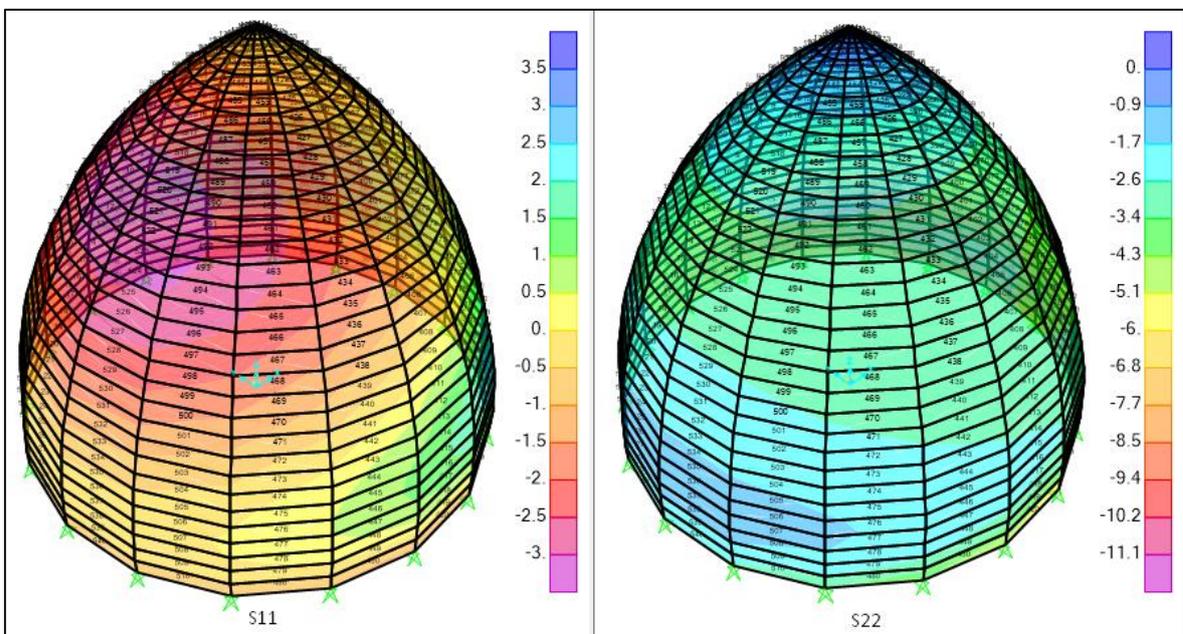


Figura 61: Esfuerzos meridianales (S22) y perimetrales (S11) en el Eco-domo ojival equilátero 3.

Fuente: SAP2000, 2018.

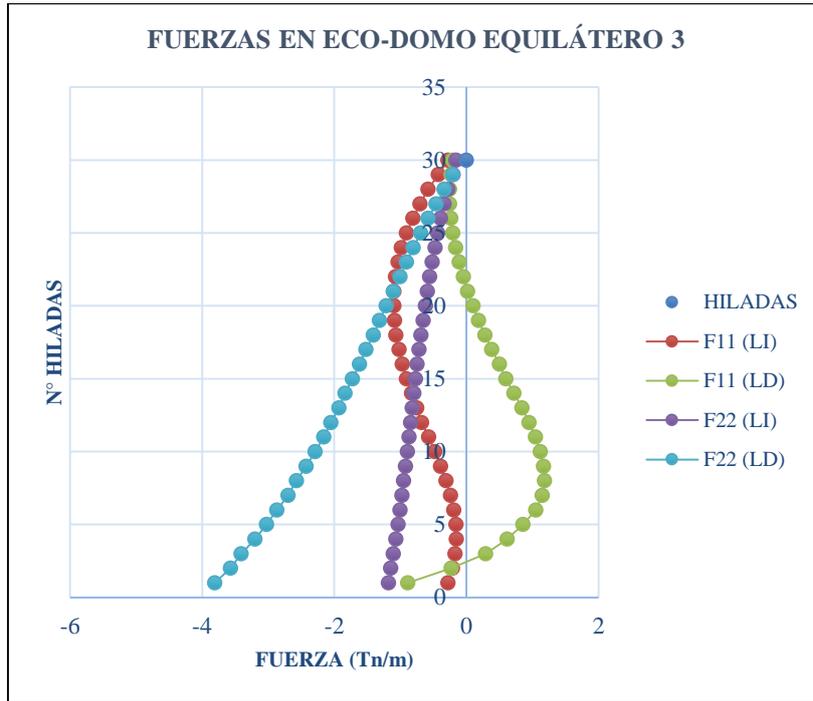
Tabla 25. Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 3.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
30	-0.276	-0.208	-0.155	-0.207
29	-0.422	-0.230	-0.200	-0.338
28	-0.580	-0.254	-0.28	-0.457
27	-0.700	-0.252	-0.335	-0.582
26	-0.810	-0.234	-0.390	-0.690
25	-0.905	-0.205	-0.435	-0.803
24	-0.985	-0.162	-0.475	-0.905
23	-1.035	-0.110	-0.515	-1.005
22	-1.070	-0.045	-0.555	-1.105
21	-1.095	0.021	-0.590	-1.215
20	-1.098	0.100	-0.620	-1.315
19	-1.087	0.185	-0.655	-1.410
18	-1.065	0.280	-0.685	-1.520
17	-1.020	0.384	-0.715	-1.615
16	-0.970	0.500	-0.745	-1.725
15	-0.905	0.600	-0.768	-1.835
14	-0.830	0.720	-0.795	-1.930
13	-0.750	0.840	-0.820	-2.050
12	-0.675	0.950	-0.845	-2.160
11	-0.570	1.045	-0.868	-2.290
10	-0.476	1.120	-0.894	-2.425
9	-0.390	1.170	-0.920	-2.570
8	-0.305	1.185	-0.948	-2.700
7	-0.240	1.150	-0.975	-2.870
6	-0.190	1.050	-1.005	-3.025
5	-0.155	0.858	-1.035	-3.200
4	-0.150	0.620	-1.065	-3.410
3	-0.171	0.290	-1.105	-3.570
2	-0.210	-0.230	-1.145	-3.810
1	-0.280	-0.885	-1.180	-4.015

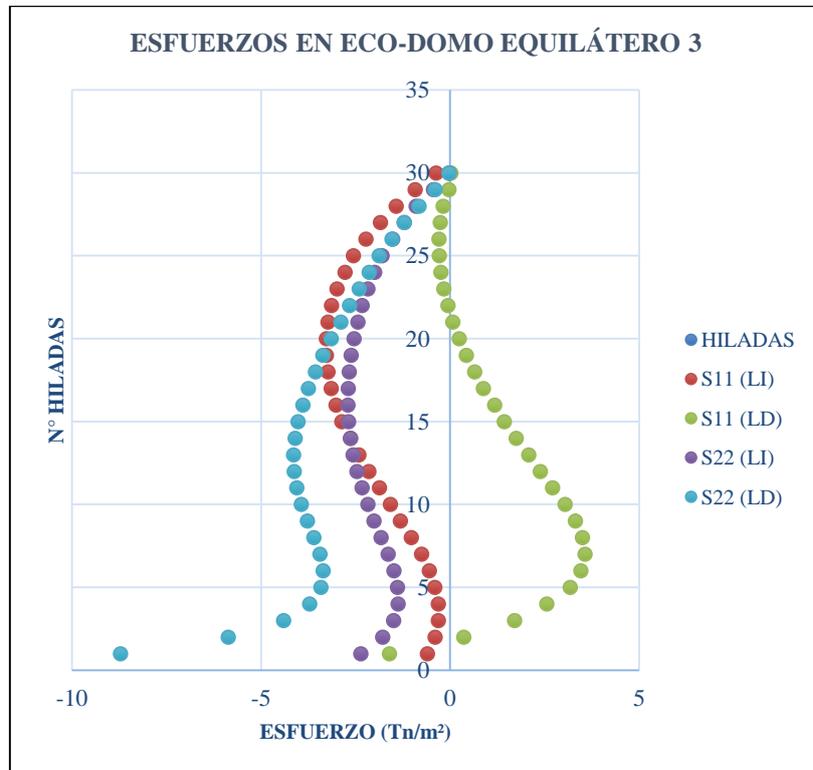
Tabla 26. Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 3.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
30	-0.365	0.021	-0.025	-0.029
29	-0.925	-0.030	-0.435	-0.397
28	-1.425	-0.180	-0.895	-0.817
27	-1.840	-0.258	-1.208	-1.210
26	-2.220	-0.290	-1.520	-1.535
25	-2.555	-0.284	-1.800	-1.871
24	-2.781	-0.240	-1.990	-2.138
23	-2.992	-0.163	-2.170	-2.406
22	-3.130	-0.057	-2.325	-2.660
21	-3.226	0.075	-2.435	-2.887
20	-3.270	0.240	-2.535	-3.145
19	-3.274	0.428	-2.615	-3.365
18	-3.225	0.650	-2.665	-3.558
17	-3.140	0.885	-2.694	-3.748
16	-3.015	1.180	-2.700	-3.890
15	-2.860	1.438	-2.679	-4.023
14	-2.630	1.754	-2.635	-4.100
13	-2.415	2.083	-2.564	-4.135
12	-2.150	2.388	-2.460	-4.120
11	-1.868	2.710	-2.324	-4.056
10	-1.575	3.045	-2.170	-3.931
9	-1.310	3.320	-2.012	-3.776
8	-1.024	3.504	-1.826	-3.602
7	-0.754	3.574	-1.634	-3.443
6	-0.550	3.465	-1.480	-3.355
5	-0.400	3.184	-1.392	-3.412
4	-0.310	2.561	-1.376	-3.709
3	-0.305	1.707	-1.490	-4.402
2	-0.395	0.366	-1.785	-5.870
1	-0.602	-1.600	-2.364	-8.720

Gráfica 13: Fuerzas Perimetrales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival equilátero 3.



Gráfica 14: Esfuerzos Perimetrales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival equilátero 3.



3.1.2.4. Comportamiento estructural de Eco-domo arco ojival equilátero 4

Los desplazamientos máximos y mínimos en la dirección X e Y se presentan a continuación:

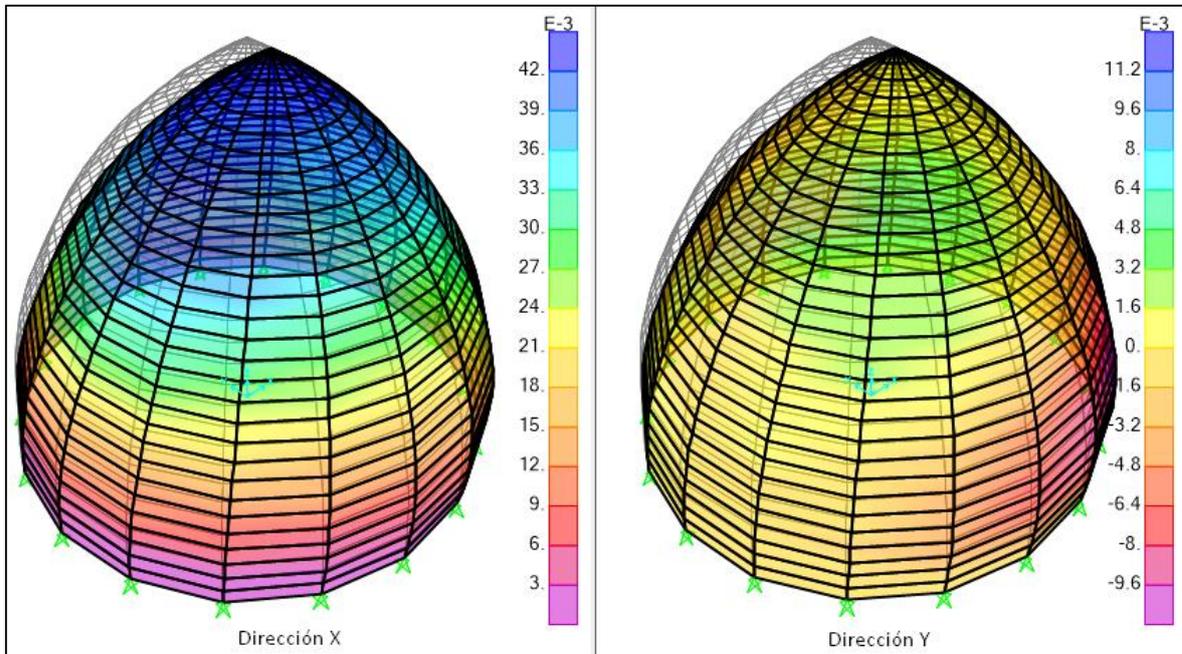


Figura 62: Deformada por desplazamiento en dirección X e Y del Eco-domo equilátero 4.

Fuente: SAP2000, 2018.

Tabla 27: Desplazamiento en dirección X e Y - Eco-domo equilátero 4.

Dirección		Desplazamiento (cm)	N° de Hilada
X	Máx.	4.366	24
	Mín.	0.109	3
Y	Máx.	4.366	24
	Mín.	0.109	3

Las fuerzas y esfuerzos máximos y mínimos se presentan a continuación:

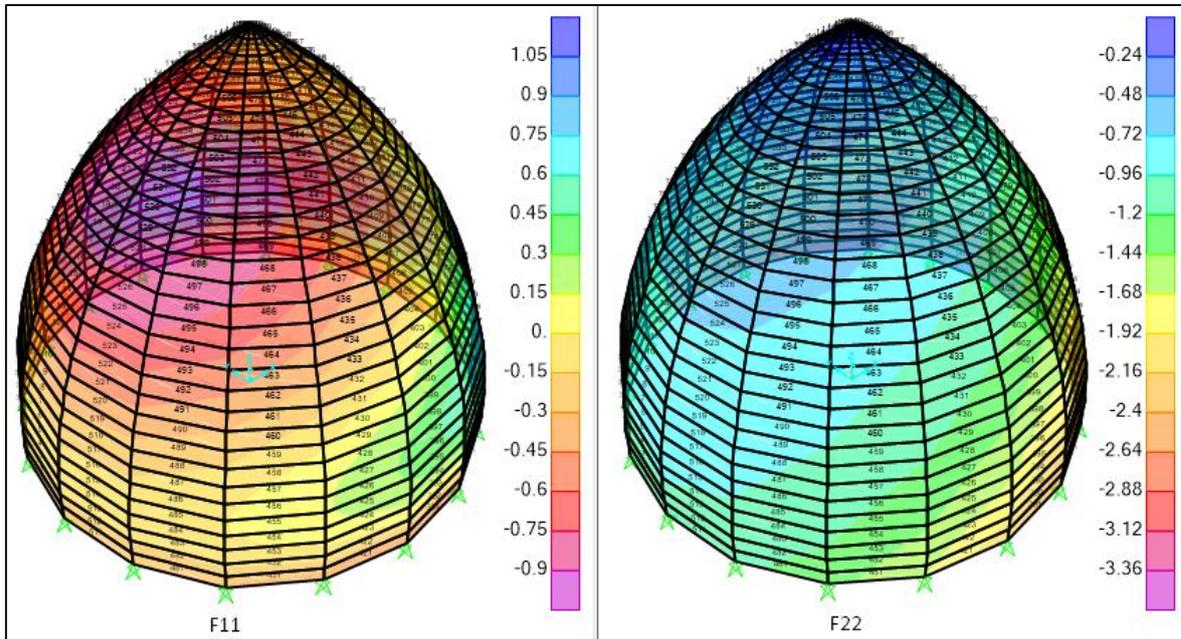


Figura 63: Fuerzas meridianales ($F22$) y perimetrales ($F11$) en el Eco-domo ojival equilátero 4.

Fuente: SAP2000, 2018.

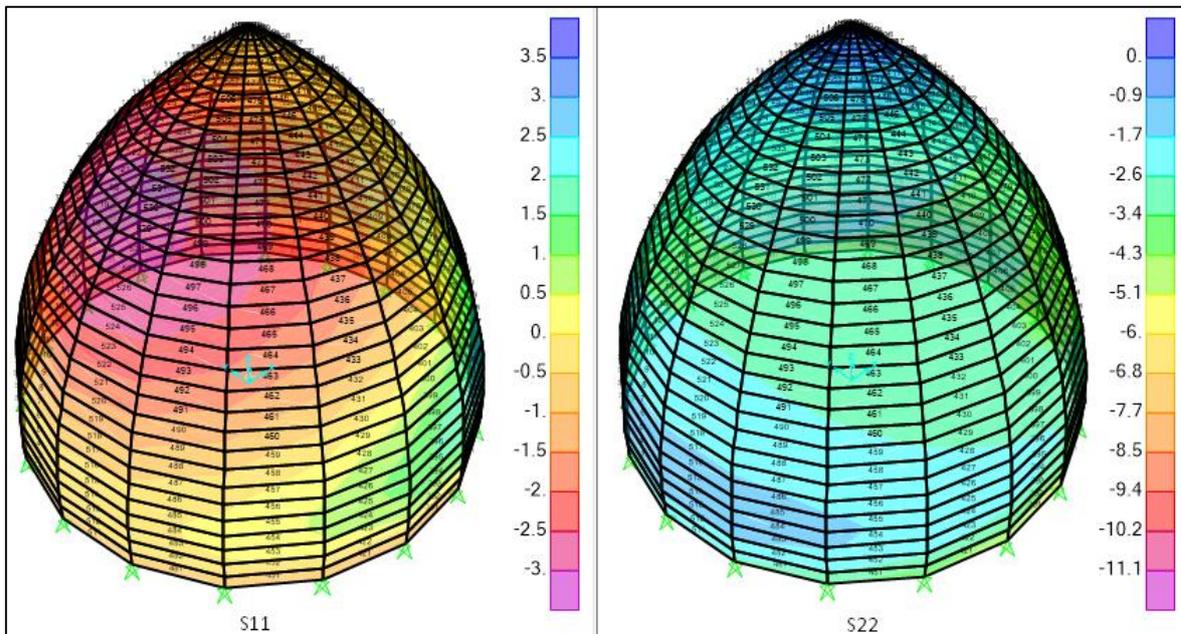


Figura 64: Esfuerzos meridianales ($S22$) y perimetrales ($S11$) en el Eco-domo equilátero 4.

Fuente: SAP2000, 2018.

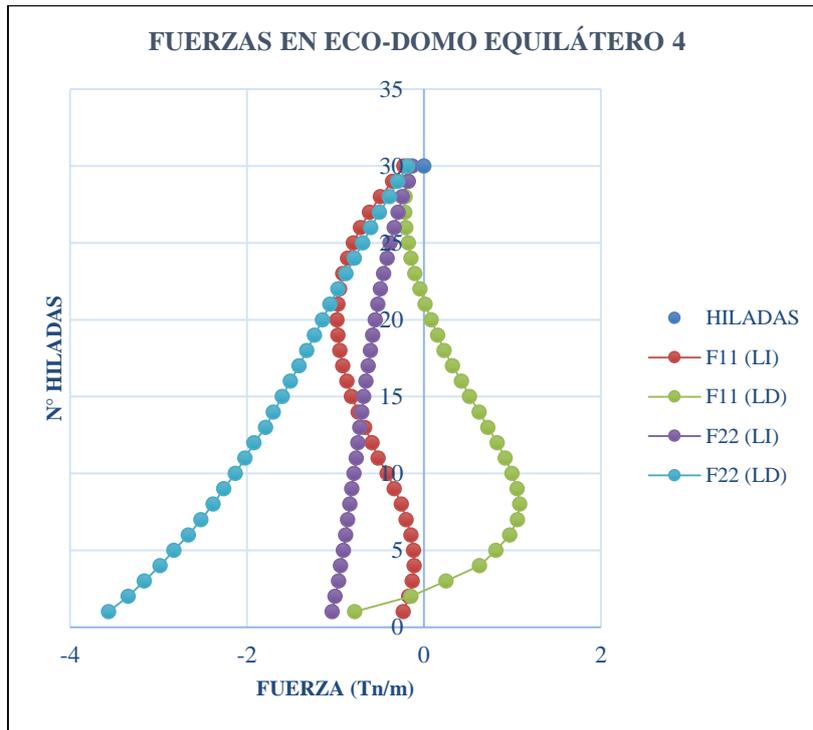
Tabla 28: Fuerzas internas de Eco-domo equilátero 4.

N° HILADA	Fuerza Perimetral (F11)		Fuerza Meridional (F22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
30	-0.225	-0.170	-0.130	-0.180
29	-0.354	-0.185	-0.175	-0.295
28	-0.490	-0.212	-0.242	-0.390
27	-0.615	-0.215	-0.290	-0.500
26	-0.715	-0.202	-0.335	-0.600
25	-0.795	-0.175	-0.380	-0.690
24	-0.860	-0.145	-0.415	-0.785
23	-0.915	-0.100	-0.455	-0.880
22	-0.951	-0.045	-0.490	-0.970
21	-0.970	0.015	-0.520	-1.060
20	-0.980	0.085	-0.550	-1.145
19	-0.970	0.155	-0.578	-1.235
18	-0.950	0.230	-0.605	-1.322
17	-0.915	0.325	-0.630	-1.410
16	-0.870	0.425	-0.655	-1.510
15	-0.818	0.515	-0.680	-1.600
14	-0.742	0.625	-0.702	-1.700
13	-0.670	0.725	-0.724	-1.790
12	-0.585	0.830	-0.744	-1.920
11	-0.515	0.920	-0.765	-2.020
10	-0.415	0.995	-0.790	-2.130
9	-0.335	1.055	-0.815	-2.260
8	-0.255	1.085	-0.835	-2.380
7	-0.200	1.060	-0.860	-2.520
6	-0.145	0.970	-0.885	-2.662
5	-0.115	0.815	-0.910	-2.824
4	-0.110	0.630	-0.940	-2.980
3	-0.130	0.250	-0.965	-3.160
2	-0.170	-0.145	-1.005	-3.340
1	-0.231	-0.780	-1.035	-3.562

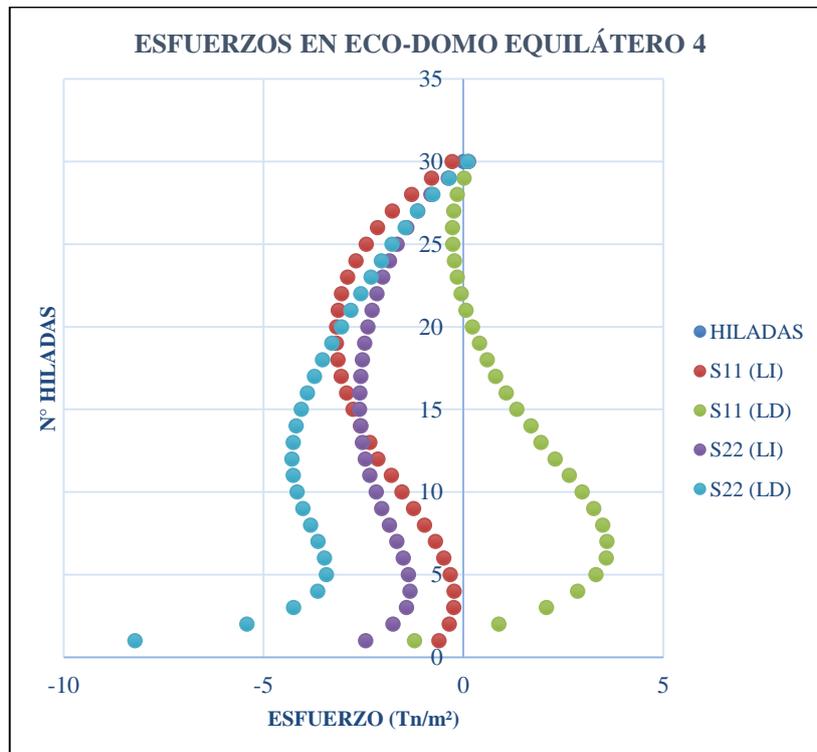
Tabla 29: Esfuerzos internos de Eco-domo equilátero 4.

N° HILADA	Esfuerzo Perimetral (S11)		Esfuerzo Meridional (S22)	
	Lado Izquierdo	Lado derecho	Lado Izquierdo	Lado derecho
30	-0.280	0.115	0.125	0.115
29	-0.800	0.012	-0.380	-0.355
28	-1.300	-0.154	-0.815	-0.765
27	-1.780	-0.239	-1.145	-1.150
26	-2.150	-0.278	-1.415	-1.460
25	-2.435	-0.270	-1.663	-1.785
24	-2.690	-0.225	-1.854	-2.054
23	-2.895	-0.157	-2.023	-2.315
22	-3.050	-0.055	-2.170	-2.570
21	-3.135	0.060	-2.290	-2.815
20	-3.175	0.225	-2.388	-3.050
19	-3.180	0.400	-2.470	-3.290
18	-3.140	0.595	-2.530	-3.530
17	-3.060	0.800	-2.572	-3.725
16	-2.925	1.070	-2.595	-3.905
15	-2.760	1.335	-2.600	-4.060
14	-2.580	1.690	-2.570	-4.190
13	-2.340	1.940	-2.525	-4.260
12	-2.140	2.290	-2.455	-4.290
11	-1.805	2.646	-2.340	-4.255
10	-1.540	2.968	-2.180	-4.160
9	-1.250	3.260	-2.045	-4.020
8	-0.975	3.480	-1.850	-3.825
7	-0.700	3.590	-1.670	-3.640
6	-0.490	3.570	-1.505	-3.480
5	-0.330	3.311	-1.375	-3.430
4	-0.235	2.855	-1.340	-3.650
3	-0.240	2.076	-1.425	-4.250
2	-0.352	0.880	-1.760	-5.415
1	-0.615	-1.225	-2.450	-8.220

Gráfica 15: Fuerzas Perimetales (F11) y Fuerzas Meridionales (F22) en Eco-domo arco ojival equilátero 4.



Gráfica 16: Esfuerzos Perimetales (S11) y Esfuerzos Meridionales (S22) en Eco-domo arco ojival equilátero 4.



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1. Discusión

5.1.1. Diseño Arquitectónico

En cuanto al diseño según Canadell (2014) el arco ojival apuntado es el mejor método de diseño, además, Nader Khalili que es creador de este modelo de casa afirma que es el mejor método tanto en fase de diseño como en la etapa de construcción.

En la investigación, la variación de ambos métodos de diseño es en la altura, pues los diseñados con el arco ojival apuntado ganan en altura entre 20 cm a 50 cm a los diseñados con arco ojival equilátero, esta variación de altura depende del diámetro y del ancho de muro de la casa.

5.1.2. Comportamiento estructural

- En la Tabla 30 se está comparando los desplazamientos ocasionados por un sismo en las direcciones X e Y en los ocho modelos de casas Eco-domo propuestos, teniendo en cuenta el tipo de diseño tanto arco ojival apuntado y arco ojival equilátero, el diámetro interno y el ancho de muro del Eco-domo. De los Eco-domos diseñados con arco ojival apuntado el que presenta menor desplazamiento máximo es el que tiene menor diámetro y ancho de muro (arco ojival apuntado 2) pues se presenta en la cuarta hilada es decir a unos 60 cm de la base del domo, y el que tiene el mayor desplazamiento máximo es el que tiene mayor diámetro y ancho de muro (arco ojival apuntado 3) y lo presenta en la coronación.

Tabla 30: Comparación de resultados de desplazamientos en modelos de Eco-domo.

ECO-DOMO	Investigación Propia								Según Canadell Eco-domo (b=0.30 m, Ø=4.00 m, h=3.81m)			
	Desplazamientos (cm)								Desplazamientos (cm)			
	Dirección X				Dirección Y				Max	N° hilada	Min	N° hilada
	Max	N° hilada	Min	N° hilada	Max	N° hilada	Min	N° hilada				
Ojival apuntado 1 (b=0.40 m, Ø=4.00 m, h=3.924 m)	3.132	26	0.102	1	3.132	26	0.102	1				
Ojival apuntado 2 (b=0.30 m, Ø=4.00 m, h=3.810m)	0.552	4	9.105E-13	25	0.552	4	9.105E-13	25				
Ojival apuntado 3 (b=0.45 m, Ø=5.00 m, h=4.848m)	4.864	32	0.122	1	4.864	32	0.122	1				
Ojival apuntado 4 (b=0.40 m, Ø=5.00 m, h=4.791m)	4.765	32	0.114	3	4.765	32	0.114	3	1.55	20	0.50	1
Ojival equilátero 1 (b=0.40 m, Ø=4.00 m, h=3.693m)	0.502	5	337E-6	13	0.502	5	337E-6	13				
Ojival equilátero 2 (b=0.30 m, Ø=4.00 m, h=3.366m)	5.532	19	0.164	1	5.532	19	0.164	1				
Ojival equilátero 3 (b=0.45 m, Ø=5.00 m, h=5.588m)	4.412	22	0.117	1	4.412	22	0.117	1				
Ojival equilátero 4 (b=0.40 m, Ø=5.00 m, h=4.560m)	4.366	24	0.109	3	4.366	24	0.109	3				

De los Eco-domos diseñados con arco ojival equilátero, el que presenta menor desplazamiento máximo es el ojival equilátero 1 pues se presenta en la quinta hilada es decir a unos 75 cm de la base del domo, y el que tiene el mayor desplazamiento máximo es el que tiene menor diámetro y ancho de muro (arco ojival equilátero 2) pues lo presenta en hilada 19 es decir a 2.85 m de la base del Eco-domo.

Como se consideró las mismas dimensiones en ambos tipos de diseño tanto para el diámetro y el ancho de muro, el resultado de comparar ambos diseños se tiene que: para los diseñados con ancho de muro 0.40 m, y diámetro 4.00 m, el mayor desplazamiento lo presenta el arco ojival apuntado 1 con una diferencia de 2.63 cm respecto al equilátero 1, estos desplazamientos se presentan en la coronación y en la base del Eco-domo respectivamente. Los diseñados con ancho de muro 0.30 m, y diámetro 4.00 m, el mayor desplazamiento lo presenta el arco ojival equilátero 2 con una diferencia de 4.98 cm respecto al arco ojival apuntado 2, estos desplazamientos se presentan en la base y en la coronación del Eco-domo respectivamente. Los diseñados con ancho de muro 0.45 m, y diámetro 5.00 m, el mayor desplazamiento lo presenta el arco ojival apuntado 3 con una diferencia de 0.452 cm respecto al equilátero 3, estos desplazamientos se presentan en la coronación de ambos Eco-domos. Y los diseñados con ancho de muro 0.40 m, y diámetro 5.00 m, el mayor desplazamiento lo presenta el arco ojival apuntado 4 con una diferencia de 0.399 cm respecto al equilátero 4, estos desplazamientos se presentan en la coronación de ambos Eco-domos.

En la investigación de Canadell (2014), su diseño fue con el método de arco ojival apuntado y las dimensiones fueron iguales a las del modelo propuesto

(arco ojival apuntado 2), sin embargo, su desplazamiento máximo se presenta en la coronación y la mínima en la base del Eco-domo.

- En las tablas 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25 y 28 se presentan las fuerzas tanto meridionales como perimetrales, de todos los modelos planteados en la presente tesis, los diseños que presentan las menores fuerzas internas tanto a compresión y tracción es el arco ojival apuntado, sin embargo, los Eco-domo diseñados con arco ojival equilátero presentan las mayores fuerzas internas.

Según la investigación de Canadell (2014) en el que diseñó un Eco-domo mediante el arco ojival apuntado obtuvo que la fuerza meridional es bastante lineal y de compresión en todas las hiladas. Empezando con un valor de -0.117 Tn en el elemento superior y alcanzando los -1.588 Tn al pie y la fuerza perimetral presentó un máximo de compresión de -0.350 Tn a una altura 3.05 m y de -0.179 Tn en coronación. A una altura $1,82$ m la fuerza en los paralelos pasa a ser de tracción, valiendo 0.868 Tn en el pie del domo. Así mismo, en el arco ojival apuntado 2 se aprecia que la fuerza meridional tiende a ser lineal y de compresión en todas las hiladas con el valor mínimo de -0.087 Tn en la coronación y un máximo de -1.399 Tn en la primera hilada; la fuerza perimetral se presenta con un máximo de compresión de -0.372 Tn en la primera hilada luego pasa a ser de tracción desde la tercera hilada hasta la número 11 presentando su máximo valor de 0.271 Tn en la sexta hilada luego en la parte superior desde la hilada 12 hasta la 25 pasa a ser de compresión con su máximo valor de -0.292 Tn en la hilada 19.

Y en el arco ojival equilátero 1 se aprecia que la fuerza meridional también tiende a ser lineal y de compresión en todas las hiladas con el valor mínimo de -0.165 Tn en la coronación y un máximo de -1.820 Tn en la primera hilada; la fuerza perimetral se presenta con un máximo de compresión de -0.335 Tn en la primera hilada luego pasa a ser de tracción desde la tercera hilada hasta la número 10 presentando su máximo valor de 0.298 Tn en la sexta hilada luego en la parte superior desde la hilada 12 hasta la 24 pasa a ser de compresión con su máximo valor de -0.408 Tn en la hilada 19.

Además, en los diseños restantes con arco ojival apuntado y equilátero planteados con diámetros mayores a cuatro metros y ancho de muro mayores a 30 cm, las fuerzas perimetrales y meridionales no presentan una tendencia lineal, es decir, las fuerzas varían de compresión a tracción o viceversa a diferentes alturas tanto a lado izquierdo y derecho del Eco-domo.

- En las tablas 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26 se presentan los esfuerzos tanto meridionales como perimetrales, pues de todos los modelos planteados en la presente tesis, los diseños que presentan los menores esfuerzos internos tanto a compresión y tracción es el arco ojival apuntado y los Eco-domo diseñados con arco ojival equilátero presentan los mayores esfuerzos internos.

En la investigación de Canadell (2014) que diseñó un Eco-domo mediante el arco ojival apuntado determinó que la tensión en los meridianos también muestra una tendencia muy parecida a la fuerza meridional siendo de -0.538 Tn/m² en el punto superior de la cúpula, y de -5.212 Tn/m² en los elementos inferiores. A pesar de que ésta tensión viene condicionada por la fuerza meridional, también lo está por la flexión, pero al ser los momentos tan

pequeños, apenas se aprecia la influencia de éstos. Además, las tensiones perimetrales, los anillos hasta la altura de 2 m están sometidos a tracción alcanzando un valor de 2.857 Tn/m^2 en la base. El máximo de compresión es de -0.938 Tn/m^2 y se da en la altura de 3,33m mientras que en coronación la tensión es de -0.862 Tn/m^2 . Ahora bien, de los modelos diseñados con arco ojival apuntado, el arco ojival apuntado 2 es el que presenta los menores resultados de fuerzas internas a compresión y tracción, pero las tensiones meridionales en este no presentan una tendencia lineal como la fuerza meridional de este mismo, pues presenta su mínimo valor de -0.056 Tn/m^2 en coronación y el máximo de -4.450 Tn/m^2 en la primera hilada. Las tensiones perimetrales se presentan con -0.805 Tn/m^2 en la primera hilada luego pasa a ser de tracción hasta la hilada 10 presentando su valor máximo de 1.245 Tn/m^2 en la quinta hilada. A partir de la hilada 11 pasa a compresión presentando su valor máximo de -1.165 Tn/m^2 en la hilada 19 y mínimo de $-0,130 \text{ Tn/m}^2$ en coronación. Así mismo, de los diseñados con arco ojival equilátero, el arco ojival equilátero 1 es el que presenta los menores resultados de fuerzas internas a compresión y tracción, pero las tensiones meridionales en este no presentan una tendencia lineal como la fuerza meridional, pues presenta su mínimo valor de -0.075 Tn/m^2 en coronación y el máximo de -3.625 Tn/m^2 en la primera hilada. Las tensiones perimetrales se presentan con -0.385 Tn/m^2 en la primera hilada luego pasa a ser de tracción hasta la hilada 9 presentando su valor máximo de 1.113 Tn/m^2 en la quinta hilada. A partir de la hilada 10 pasa a compresión presentando su valor máximo de -1.295 Tn/m^2 en la hilada 17 y mínimo de $-0,245 \text{ Tn/m}^2$ en coronación.

- Además, en los diseños planteados con diámetros mayores a cuatro metros y ancho de muro mayores a 30 cm, los esfuerzos perimetrales y meridionales no presentan una tendencia lineal, es decir, las fuerzas varían de compresión a tracción o viceversa a diferentes alturas tanto a lado izquierdo y derecho del Eco-domo.

- Los desplazamientos en los Eco-domos están en función a las dimensiones en la fase de diseño ya que, según los diseños evaluados, el desplazamiento más pequeño lo presentan los domos con menor diámetro y ancho de muro tanto para los arcos apuntados y equiláteros.

- Se recomienda lo siguiente:
 - Realizar un estudio del comportamiento estructural de una casa modelo Eco-domo bajo la influencia de vanos y cimentación.
 - Realizar un estudio para el proceso constructivo y costo de una casa modelo Eco-domo.
 - Realizar un estudio para la iluminación y ventilación de una casa modelo Eco-domo.
 - Generar especificaciones técnicas para este modelo de casa Eco-domo basado en el tipo de diseño arquitectónico, comportamiento estructural y proceso constructivo.
 - Realizar estudios con materiales ecológicos y seguros utilizando el diseño del arco.

5.2. Conclusiones

1. Se cumple parcialmente la hipótesis ya que el arco ojival apuntado presenta hasta en un 9.138% mayor en deformaciones frente al arco ojival equilátero, y ante fuerzas y esfuerzos el Eco-domo diseñado con arco ojival apuntado presenta fuerzas y esfuerzos actuantes más conservadores en comparación del diseñado con arco ojival equilátero.
2. Se diseñó las casas modelo Eco-domo como se muestra en el Anexo 3, considerando los dos tipos de diseño arco ojival apuntado y arco ojival equilátero.
3. El comportamiento estructural de las casas modelo Eco-domo diseñadas con arco ojival apuntado se afirma que tienen las mayores deformaciones en la coronación y la mínima en las primeras hiladas para los diseñados con un ancho de muro mayor o igual a 0.40 m, puesto que con un ancho de muro igual a 0.30 m, éste Eco-domo presenta la mayor deformación en las primeras hiladas lo cual no es considerable. Y las fuerzas y esfuerzos varían en altura no presentando una tendencia lineal, pero siendo aún conservadores.
4. El comportamiento estructural de las casas modelo Eco-domo diseñadas con arco ojival equilátero se afirma que tienen las mayores deformaciones en la coronación y la mínima en las primeras hiladas para los diseñados con un diámetro mayor o igual a 4.00 m, sin embargo, para un diámetro de 4.00 mm y un ancho de muro igual a 0.40 m, éste Eco-domo presenta la mayor

deformación en las primeras hiladas lo cual no es considerable. Y las fuerzas y esfuerzos varían en altura no presentando una tendencia lineal, pero siendo aún conservadores.

5. El comportamiento estructural más conservador ante fuerzas y esfuerzos actuantes lo tiene el Eco-domo diseñado con arco ojival apuntado, y frente a deformaciones el Eco-domo diseñado con arco ojival equilátero es más conservador, pues se debe tener en cuenta el ancho de muro, ya que para el diseñado con arco ojival apuntado el ancho de muro no debe ser menor o igual a 0.30 m para que las deformaciones máximas no se presenten en las primeras hiladas.

REFERENCIAS

1. DELGADO SALVADOR CANALES , E. F. (2006). “*Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo Horizontal y Confinamientos de Concreto Armado*” . Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
2. Barrionuevo, R. (2010). *Investigación tecnológica aplicada: Domocaña*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
3. CalEarth. (s.f.). *CalEarth Architecture California Institute of Earth*. Obtenido de <http://www.calearth.org/>
4. Canadell Ruiz, S. (2014). *Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe*. Barcelona: Camins.
5. Gutiérrez, L., Manco, T., Loaiza, C., & Blondet, M. (2003). *Características Sísmicas de las construcciones de tierra en el Perú: Contribución a la enciclopedia mundial de las construcciones de vivienda*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
6. INEI. (2018). *Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011 - 2017*. Lima: INEI.
7. Quispe Acosta, J. A., & Rondón Durand, S. M. (2012). *Propuesta integral de reforzamiento para edificaciones de adobe. Aplicación al caso de un local escolar de adobe en la provincia de Yauyos*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
8. Vermiglio Pimentel, P. (2017). “*Resistencia a compresión uniaxial en unidades de superadobe y adobe compactado, Cajamarca*”. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

ANEXOS

1. METRADOS DE CARGAS

Para el metrado de cargas se realizó lo siguiente:

$$CM = \text{Peso específico} * \text{ancho de muro}$$

$$\text{Peso específico} = 1615 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \dots \dots \dots \text{Según Pimentel (2017)}$$

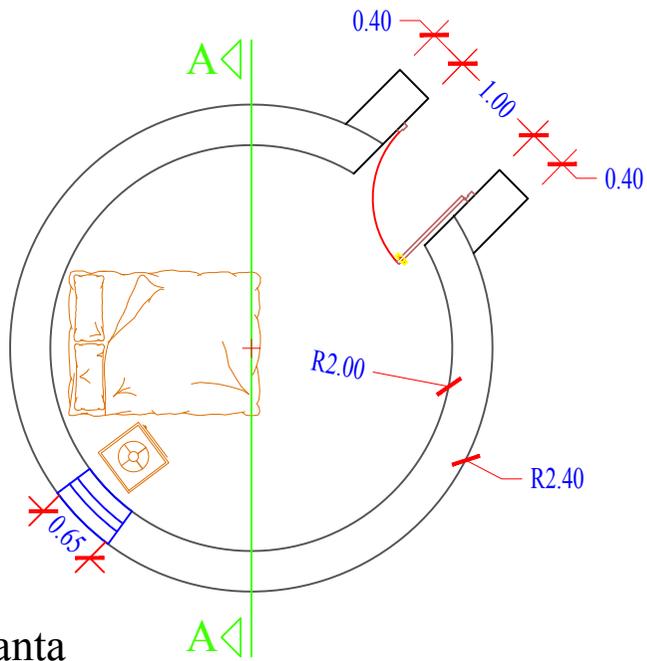
Tabla 31: Proceso de metrado de cargas.

DISEÑO	N° DE ECO-DOMO	ANCHO DE MURO (m)	PESO ESPECÍFICO (Kg/m ³)	CARGA MUERTA (kg/m ²)
OJIVAL APUNTADO	Eco-domo 1	0.40	1615.00	646.00
	Eco-domo 2	0.30	1615.00	484.50
	Eco-domo 3	0.45	1615.00	726.75
	Eco-domo 4	0.40	1615.00	646.00
OJIVAL EQUILATERO	Eco-domo 1	0.40	1615.00	646.00
	Eco-domo 2	0.30	1615.00	484.50
	Eco-domo 3	0.45	1615.00	726.75
	Eco-domo 4	0.40	1615.00	646.00

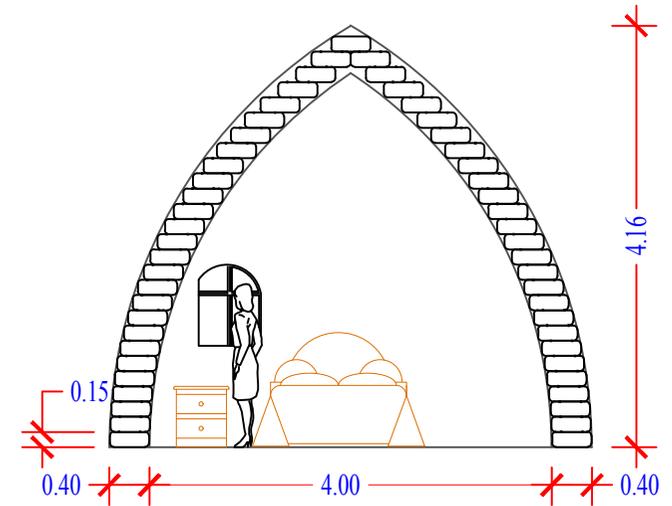
2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 32: Operacionalización de variables.

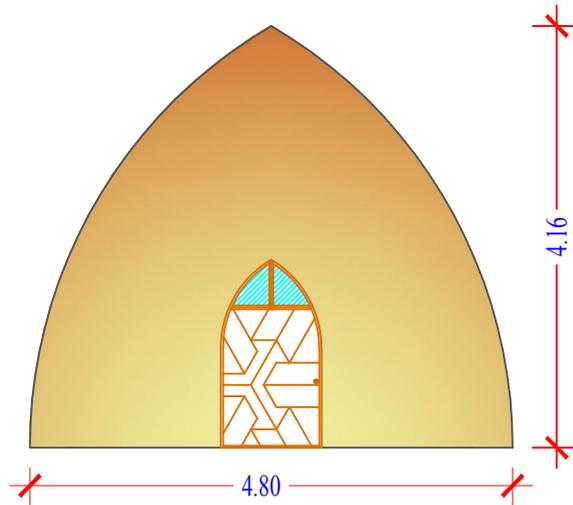
FOR. PROBLEMA	HIPÓTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	UND	INSTRUMENTO
¿Qué tipo de diseño de casa modelo Eco-domo: con arco ojival apuntado o con arco ojival equilátero, ofrece un comportamiento estructural más conservador?	El comportamiento estructural más conservador de una casa modelo Eco-domo está dado por el diseño arco ojival apuntado.	INDEPENDIENTE DISEÑO CASA MODELO ECO-DOMO	El diseño del proyecto es la etapa que comprende el desarrollo arquitectónico y de ingeniería del proyecto y define los requisitos técnicos que satisfagan al cliente y al usuario del producto de la construcción (Norma GE.030, 2013)	Diseño Geométrico	Diámetro del Eco-domo	m	Software AutoCAD 2018 Versión Estudiantil
					Ancho de muro	m	
					Altura del Eco-domo	m	
		DEPENDIENTE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE CASA MODELO ECO-DOMO	Es el comportamiento que tiene la estructura ante las solicitaciones de carga, movimientos sísmicos y del suelo, y de esa manera evitar la pérdida de vidas humanas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños de la propiedad (Norma E.030, 2016)	Comportamiento Estructural	Deformaciones	cm	Software SAP2000 20 Versión Estudiantil
				Fuerzas y Esfuerzos Internas	Tn/m Tn/m ²		



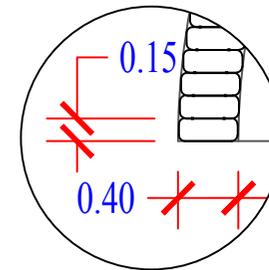
Planta
Esc. 1/100



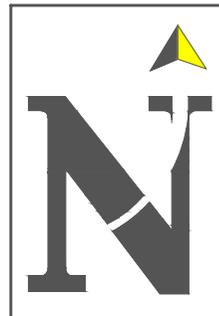
Corte A-A
Esc. 1/100



Elevación
Esc. 1/100



Detalle de Superadobe
Esc. 1/25

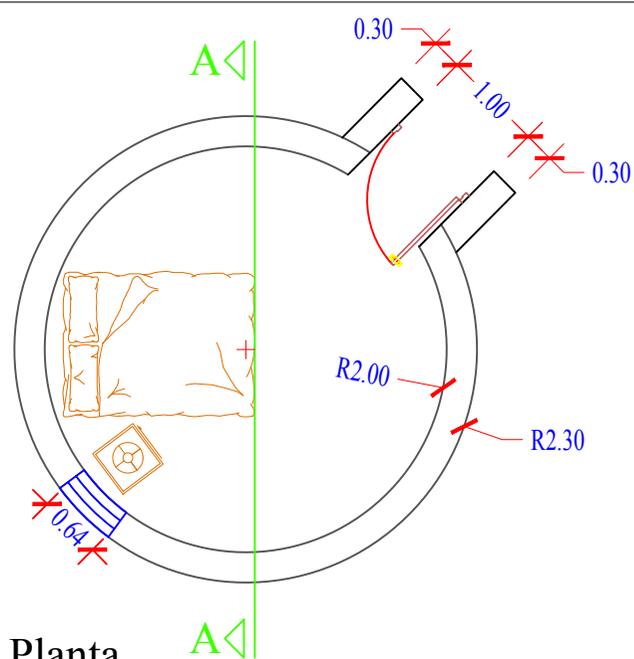


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

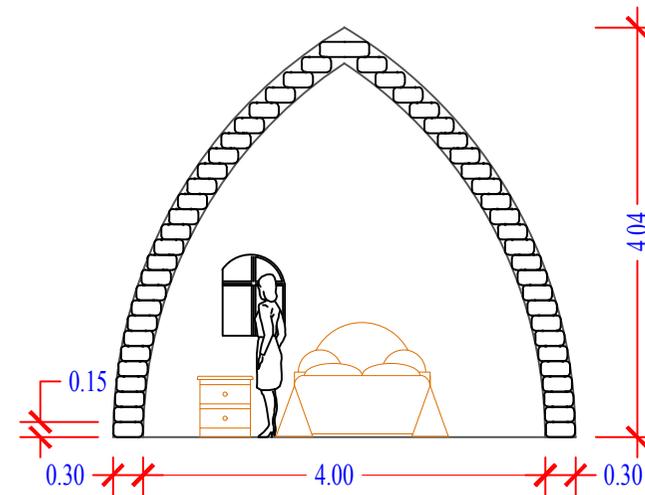
TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA MODELO ECO DOMO		
PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL APUNTADO 1		
UBICACIÓN: CAJAMARCA - CAJAMARCA		
ESCALA: INDICADA	FECHA: 19/01/19	LÁMINA: DA - 01

CURSO:
Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

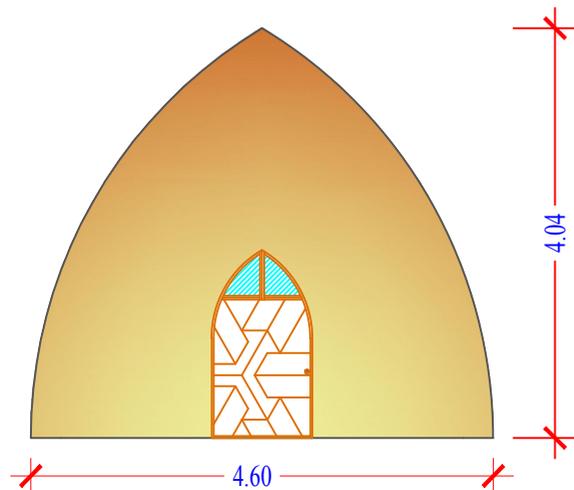
TESISTA:
Bachiller: Arik Jhonatan Alcantara Arce



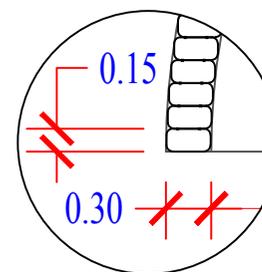
Planta
Esc. 1/100



Corte A-A
Esc. 1/100

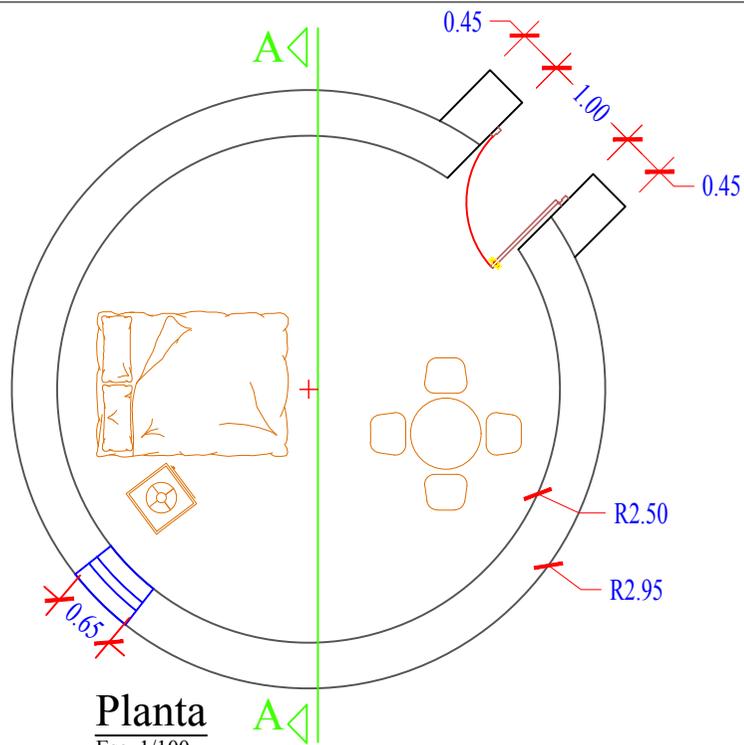


Elevación
Esc. 1/100

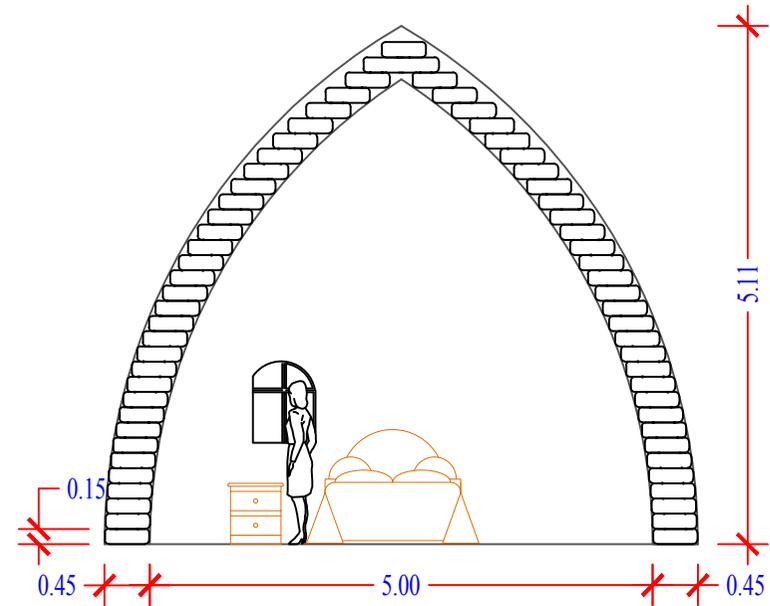


Detalle de Superadobe
Esc. 1/25

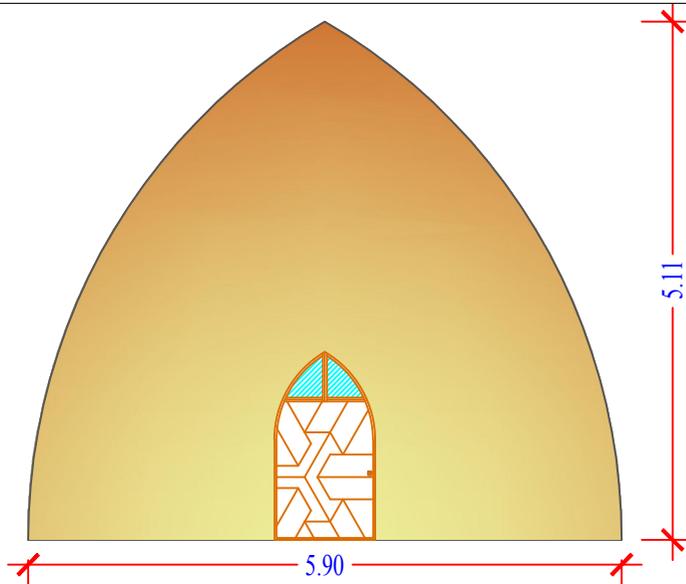
	UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
	TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA MODELO ECO DOMO	
	PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL APUNTADO 2	
	UBICACIÓN: CAJAMARCA - CAJAMARCA	
	ESCALA: INDICADA	FECHA: 19/01/19
CURSO: Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno TESISISTA: Bachiller: Arik Jhonatan Alcantara Arce		DA - 02



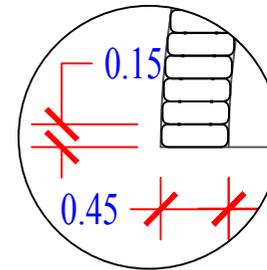
Planta
Esc. 1/100



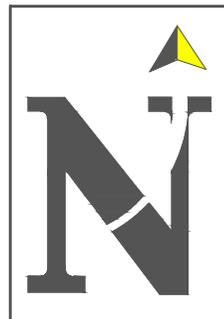
Corte A-A
Esc. 1/100



Elevación
Esc. 1/100



Detalle de Superadobe
Esc. 1/25



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA
MODELO ECO DOMO

PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL APUNTADO 3

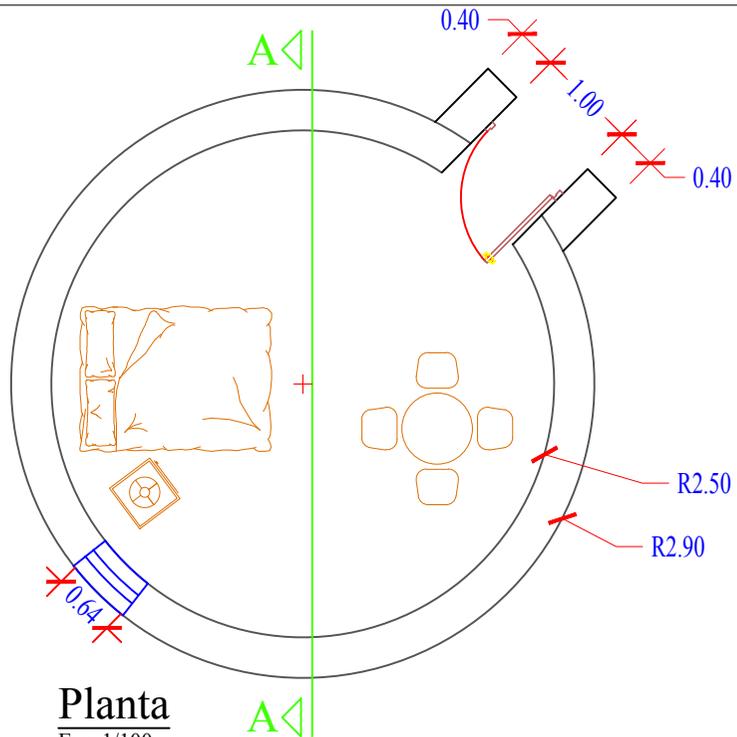
UBICACION: CAJAMARCA - CAJAMARCA

ESCALA: INDICADA FECHA: 19/01/19 LÁMINA:

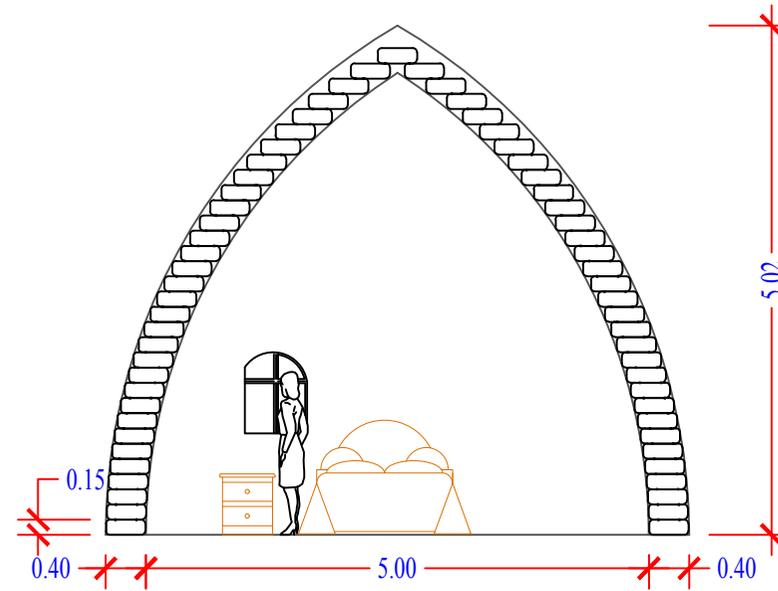
CURSO:
Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

TESISTA:
Bachiller: Arik Jhonatan Alcantara Arce

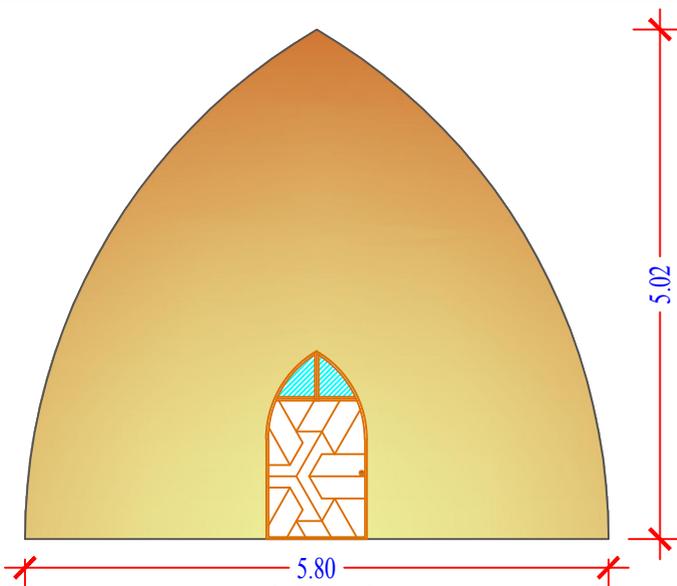
DA - 03



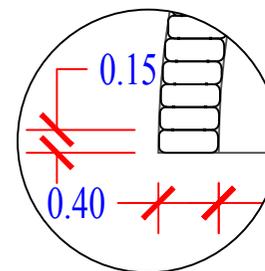
Planta
Esc. 1/100



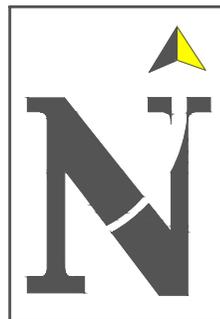
Corte A-A
Esc. 1/100



Elevación
Esc. 1/100



Detalle de Superadobe
Esc. 1/25



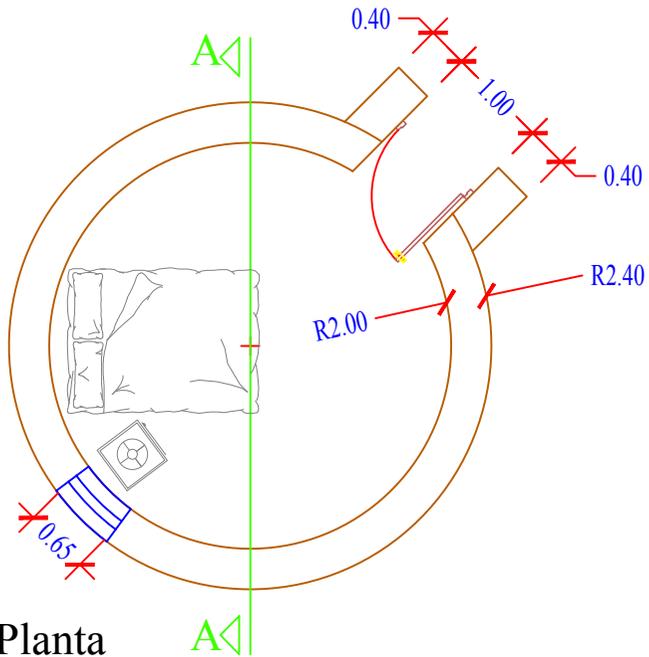
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

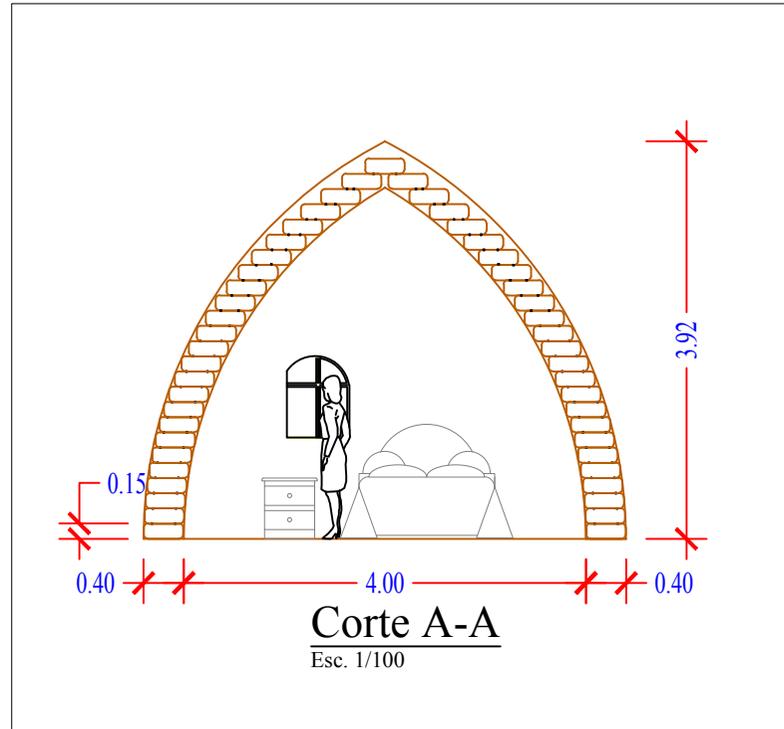
TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA MODELO ECO DOMO		
PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL APUNTADO 4		
UBICACIÓN: CAJAMARCA - CAJAMARCA		
ESCALA: INDICADA	FECHA: 19/01/19	LÁMINA: DA - 04

CURSO:
Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

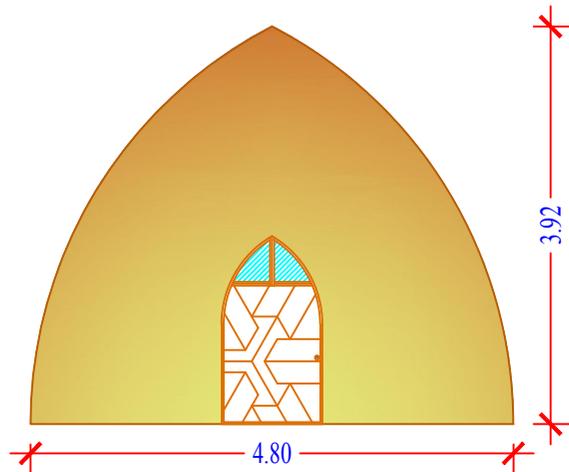
TESISTA:
Bachiller: Arik Jhonatan Alcantara Arce



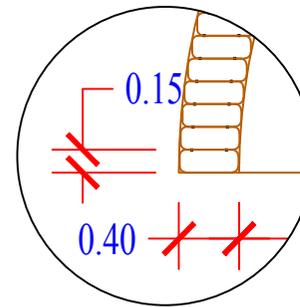
Planta
Esc. 1/100



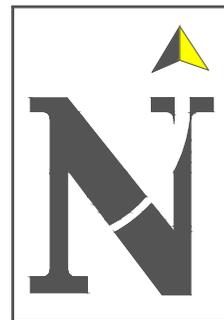
Corte A-A
Esc. 1/100



Elevación
Esc. 1/100



Detalle de Superadobe
Esc. 1/50



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA

MODELO ECO DOMO

PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL EQUILÁTERO 1

UBICACIÓN: CAJAMARCA - CAJAMARCA

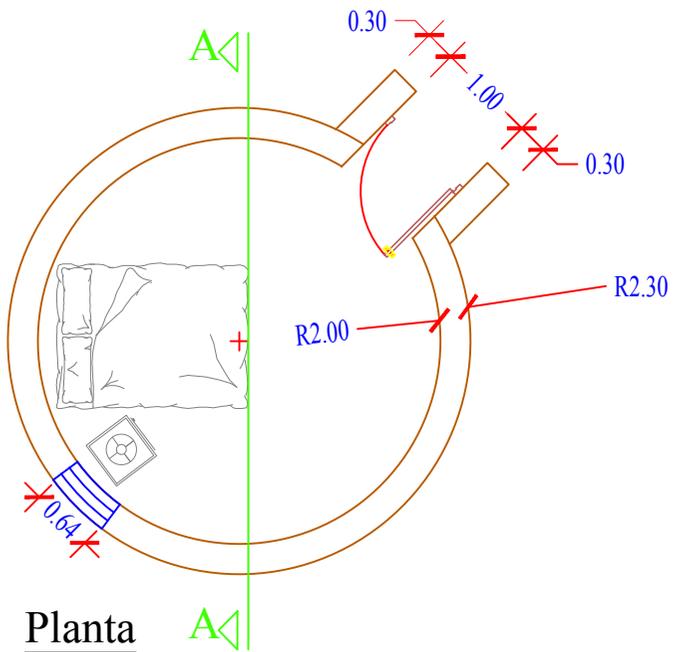
ESCALA: INDICADA FECHA: 19/01/19

LÁMINA:

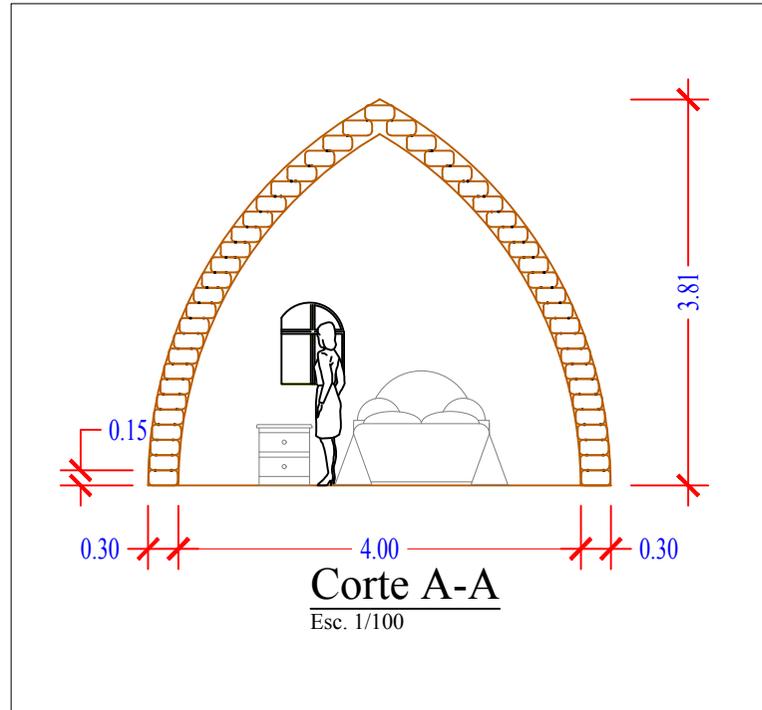
DE - 01

CURSO:
Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

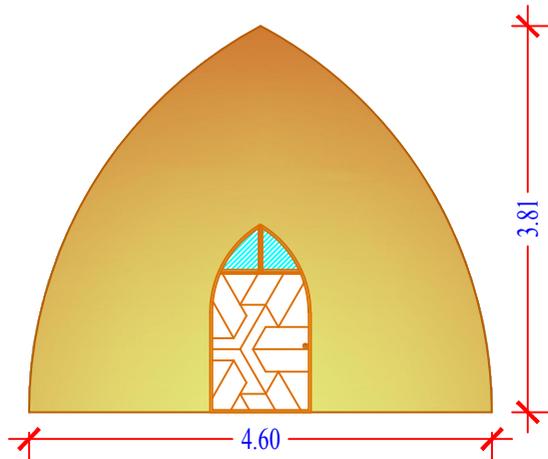
TESISTA:
Bachiller: Arik Jhonatan Alcantara Arce



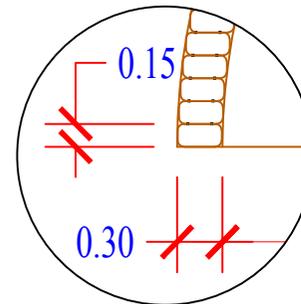
Planta
Esc. 1/100



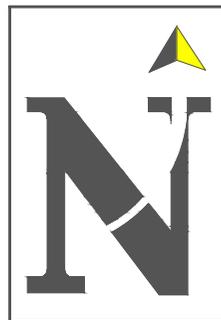
Corte A-A
Esc. 1/100



Elevación
Esc. 1/100



Detalle de Superadobe
Esc. 1/50



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA
MODELO ECO DOMO

PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL EQUILÁTERO 2

UBICACIÓN: CAJAMARCA - CAJAMARCA

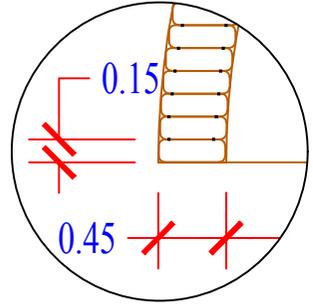
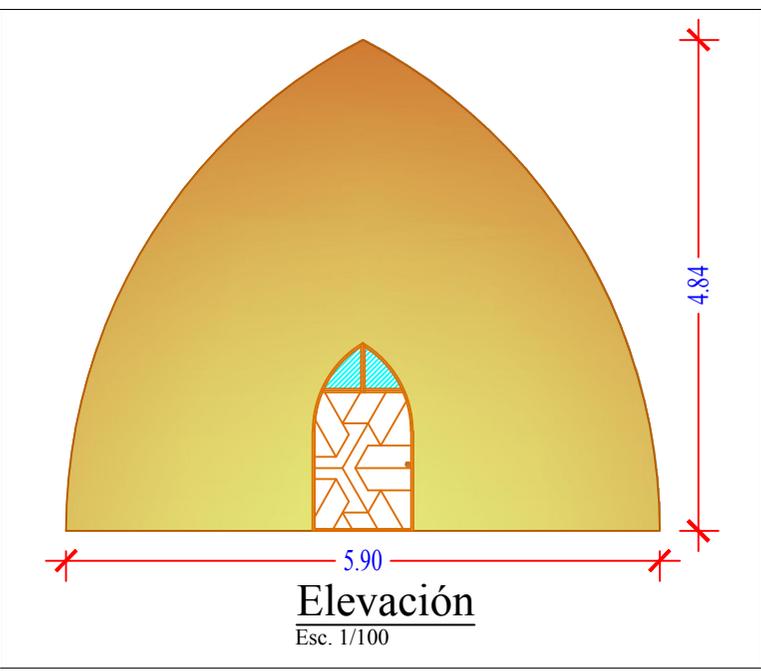
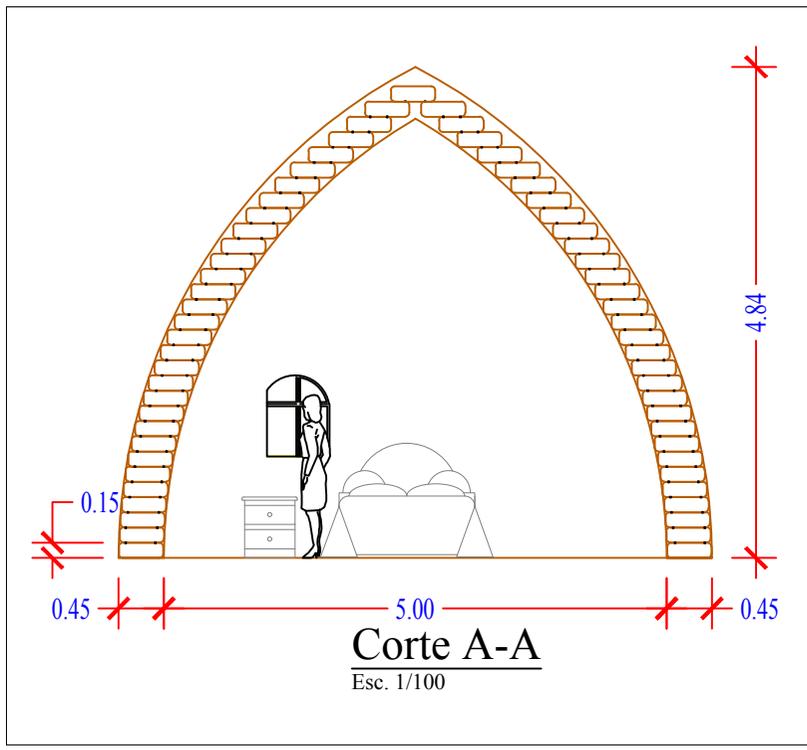
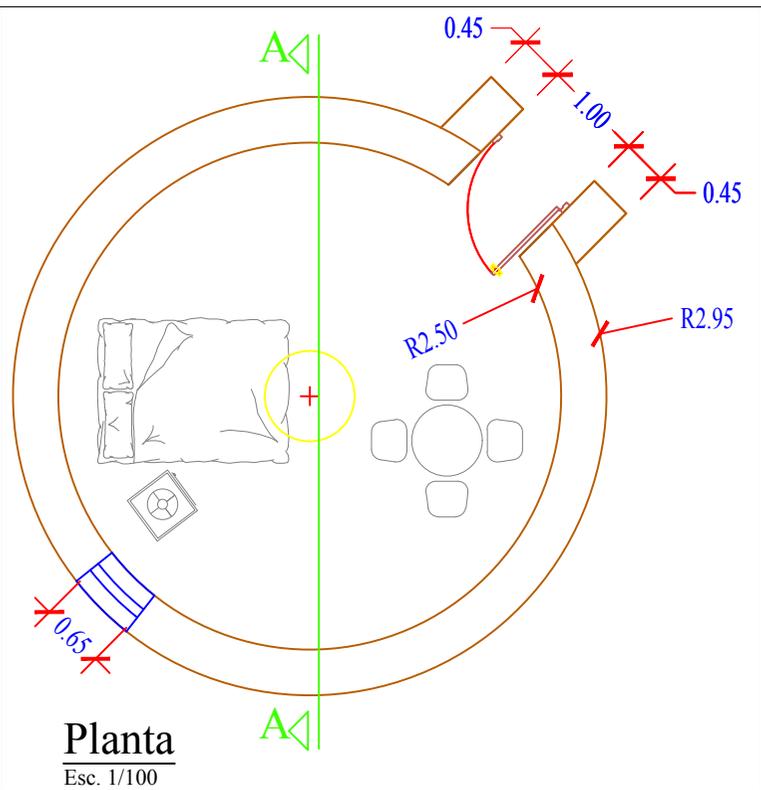
ESCALA: INDICADA FECHA: 19/01/19

LÁMINA:

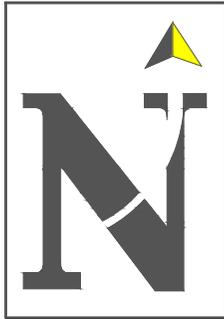
DE - 02

CURSO:
Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

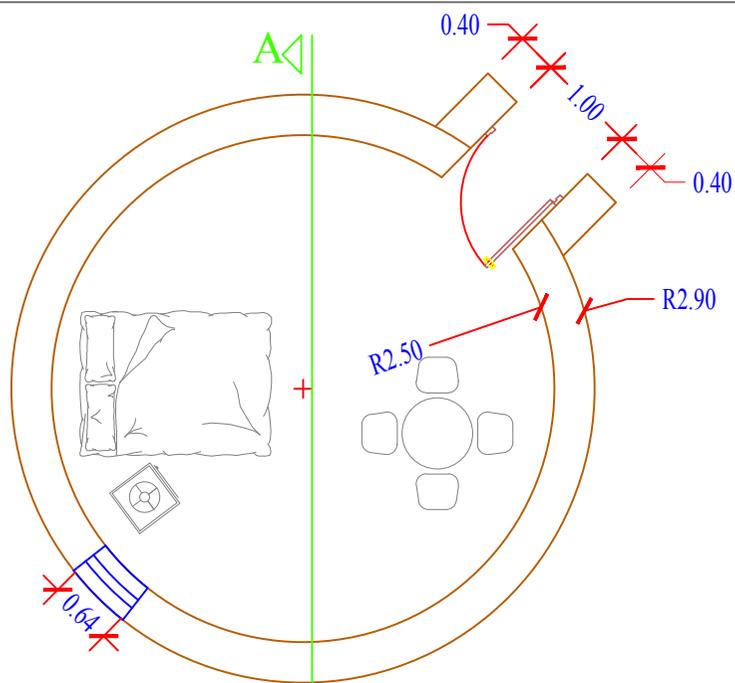
TESISTA:
Bachiller: Arik Jhonatan Alcantara Arce



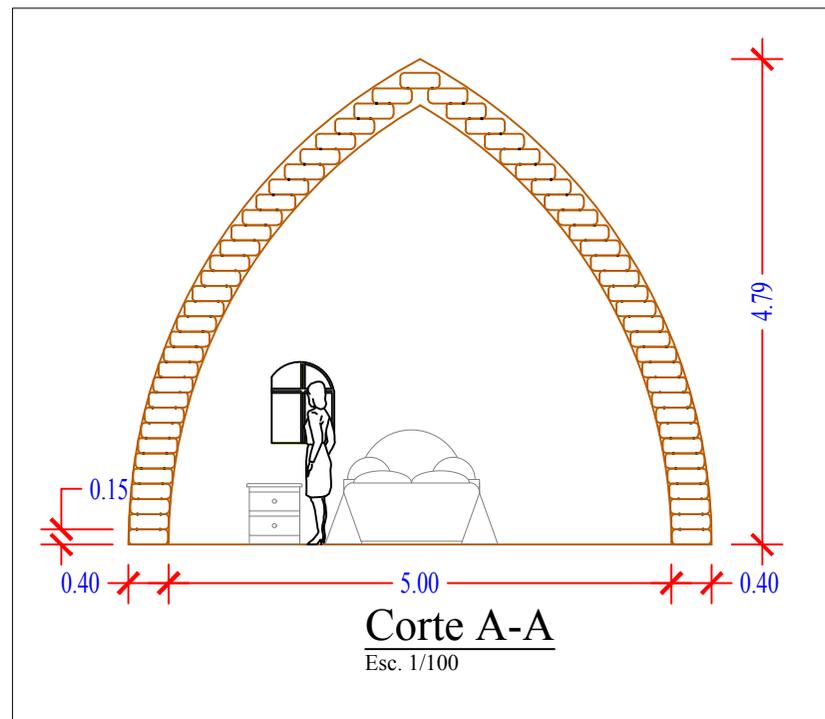
Detalle de Superadobe
Esc. 1/50



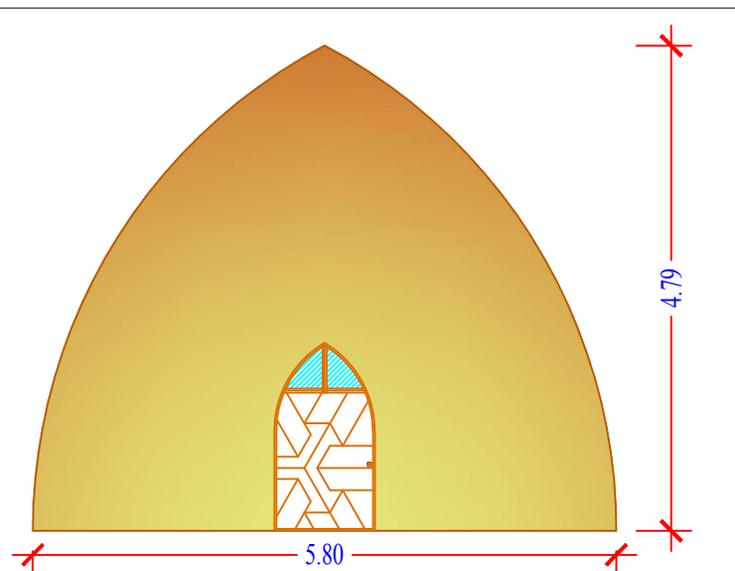
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA MODELO ECO DOMO		
PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL EQUILÁTERO 3		
UBICACIÓN: CAJAMARCA - CAJAMARCA		
ESCALA: INDICADA	FECHA: 19/01/19	LÁMINA:
CURSO: Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno		TESISISTA: Bachiller: Arik Jhonatan Alcántara Arce
		DE - 03



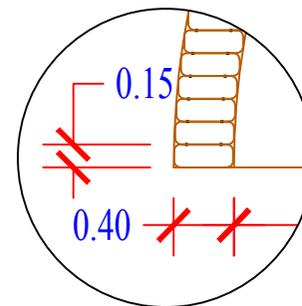
Planta
Esc. 1/100



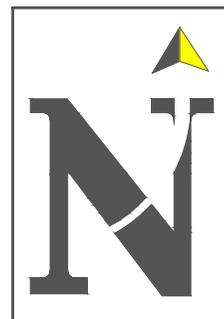
Corte A-A
Esc. 1/100



Elevación
Esc. 1/100



Detalle de Superadobe
Esc. 1/50



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: DISEÑO Y COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA
MODELO ECO DOMO

PLANO: PLANTA DE DISTRIBUCIÓN ECO-DOMO ARCO OJIVAL EQUILÁTERO 4

UBICACIÓN: CAJAMARCA - CAJAMARCA

ESCALA: INDICADA FECHA: 19/01/19

LÁMINA:

DE - 04

CURSO:
Dc. Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno

TESISTA:
Bachiller: Arik Jhonatan Alcantara Arce