

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

INFLUENCIA DEL NÚMERO DE VANOS EN LAS DISTORSIONES SISMICAS EN VIVIENDAS MODELO ECODOMO ARCO OJIVAL APUNTADO, EN EL DISTRITO LA ENCAÑADA, CAJAMARCA 2019

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Julio Alexander Castillo Quispe

Asesor:

Mg. Ricardo Daniel Avalos Alayo

Trujillo - Perú

2019



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado en primer lugar a Dios quien me permitió estar presente y con salud, además por enseñarme que los tiempos de él son perfectos.

A mi familia, principalmente a mis padres, doña Margarita Quispe García y don Julio Castillo Paredes por ser los pilares fundamentales de los principios que me rigen, por enseñarme el valor de la perseverancia y la humildad. A ellos solo me queda decirles gracias y dedicarles todos mis logros. A mis hermanos y sobrinos por su brindarme su cariño y amor constante, que es el combustible para todo ser humano, al menos desde mi punto de vista, así lo es.

A mi maestra doña Rosario Morales Cabrera, por depositar en mis todos sus conocimientos de docencia y como persona para poder desarrollarme y superarme, por haberme dado la confianza de niño que yo podía asumir grandes responsabilidades.

A mis amigos, mi segunda familia, quienes me han dado las mejores experiencias de superación, trabajo constante y dedicación, además de haber compartido conmigo proyectos, éxitos y fracasos, caídas contra el piso y levantadas inesperadas, a ellos y ellas por todas las experiencias que se quedaron grabadas en mi mente.

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los involucrados que contribuyeron con la investigación para el desarrollo del proyecto denominado “Influencia del número de vanos en las distorsiones sísmicas en viviendas modelo eco-domo arco ojival apuntado, en el distrito La Encañada, Cajamarca 2019”

Por esto, agradezco en primer lugar a Dios, nuestro creador, por mantenernos vivos día con día y brindarnos la fortaleza espiritual y el don de la sabiduría y entendimiento para poder estudiar con ahínco y lograr nuestros objetivos.

Al Ing. Ricardo Daniel Avalos Alayo, quien además de brindarme sus conocimientos y sabiduría, me ha impartido una filosofía de vida sencilla pero feliz, teniendo siempre en cuenta que la familia es lo primero, y que vivir para servir a los demás es lo que nos hace más humanos.

Al programa nacional de becas y crédito educativo (PRONABEC), por darme la oportunidad de realizar mis estudios superiores y darme el seguimiento debido para poder insérmeme de manera correcta en el mundo de la investigación y aprendizaje a nivel universitario, en especial un agradecimiento a doña Lily Maribel Torres Carmen por su seguimiento continuo a lo largo de mi carrera profesional.

Finalmente, un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros y nos prepara para un futuro competitivo.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS	14
RESUMEN.....	15
CAPITULO I. INTRODUCCION.....	16
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	16
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
1.3. BASES TEÓRICAS	37
1.3.1. Eco-domos o Earth-bag Building.....	37
1.3.1.1. Definición.....	37
1.3.1.2. Técnica de construcción Earth-bag.....	39
1.3.1.3. Materiales para construir Eco-domos	40
1.3.1.4. Geometría del domo tipo arco ojival apuntado	43
1.3.1.5. Reglas fundamentales para el diseño del domo	46
1.3.1.6. Construcción de domo tipo arco ojival apuntado.....	47
1.3.1.7. Ventajas y desventajas de construir Eco-domos.....	51
1.3.2. Vanos o aberturas en edificaciones.....	53
1.3.2.1. Definición.....	53
1.3.2.2. Consideraciones para agregar vanos en estructuras eco-domo	53
1.3.2.3. Dimensiones de vanos en estructuras eco-domo	53
1.3.3. Distorsiones sísmicas	53
1.3.3.1. Definición.....	53
1.3.3.2. Método de elementos finitos en estructuras tipo domo	54
1.3.3.3. Modelos para el análisis	57
1.3.3.4. Análisis modal dinámico espectral	57
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	58
1.5. OBJETIVOS	58
1.5.1. Objetivo general.....	58

1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	58
1.6. HIPÓTESIS	58
CAPITULO II. METODOLOGIA	59
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	59
2.1.1. <i>Por el propósito:</i>	59
2.1.2. <i>Según el Diseño:</i>	59
2.1.3. <i>Diseño de investigación</i>	59
2.2. VARIABLES	60
2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	61
2.3.1. <i>Población</i>	61
2.3.2. <i>Muestra</i>	61
2.3.3. <i>Unidad experimental</i>	62
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	62
2.4.1. <i>Técnicas de recolección de datos</i>	62
2.4.2. <i>Instrumento de recolección de datos</i>	63
2.4.3. <i>Validación del instrumento de recolección de datos</i>	64
2.4.4.1. <i>Análisis de distribución normal</i>	64
2.4.4.2. <i>Análisis de varianza</i>	64
2.4.4.3. <i>Definición de hipótesis nula y alternativa</i>	65
2.4.4.4. <i>Análisis Pos prueba</i>	65
2.5. PROCEDIMIENTO	66
2.5.1. <i>Caracterización de casas modelo eco-domo</i>	67
2.5.2. <i>Diseño de la estructura mediante el software AutoCAD</i>	67
2.5.3. <i>Modelamiento y análisis mediante el software Etabs</i>	67
2.6. DESARROLLO DE TESIS	68
2.6.1. <i>Caracterización de las casas modelo eco-domo</i>	68
2.6.2. <i>Diseño de la estructura mediante el software educacional AutoCAD</i>	70
2.6.3. <i>Modelamiento y análisis de la estructura mediante el software Etabs</i>	79
2.6.3.1. <i>Propiedades físico-mecánicas del material Earth-bag y secciones del eco-domo</i> 79	
2.6.3.2. <i>Calculo de la fuerza cortante a la base – Análisis estático</i>	81
2.6.3.3. <i>Calculo de la aceleración espectral – Análisis dinámico modal espectral</i> .82	
2.6.3.4. <i>Modelación y análisis de las estructuras en software Etabs</i>	83

CAPITULO III. RESULTADOS.....	90
3.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS MODAL.....	90
3.1.1. <i>Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 0.....</i>	<i>90</i>
3.1.2. <i>Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 1.....</i>	<i>90</i>
3.1.3. <i>Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 2.....</i>	<i>91</i>
3.1.4. <i>Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 3.....</i>	<i>91</i>
3.1.5. <i>Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 4.....</i>	<i>91</i>
3.2. RESULTADO DE CORTANTE BASAL DINÁMICA Y CORTANTE BASAL ESTÁTICA.....	92
3.2.1. <i>Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 0.....</i>	<i>92</i>
3.2.2. <i>Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 1.....</i>	<i>92</i>
3.2.3. <i>Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 2.....</i>	<i>93</i>
3.2.4. <i>Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 3.....</i>	<i>94</i>
3.2.5. <i>Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 4.....</i>	<i>94</i>
3.3. RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS.....	95
3.3.1. <i>Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 0.....</i>	<i>96</i>
3.3.2. <i>Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 1.....</i>	<i>98</i>
3.3.3. <i>Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 2.....</i>	<i>99</i>
3.3.4. <i>Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 3.....</i>	<i>100</i>
3.3.5. <i>Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 4.....</i>	<i>101</i>
3.3.6. <i>Porcentaje de variación de desplazamientos respecto al Eco-domo 0.....</i>	<i>102</i>
3.4. RESULTADOS DE DISTORSIONES RELATIVAS.....	103
3.4.1. <i>Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para Eco-domo 0.....</i>	<i>103</i>
3.4.2. <i>Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 1.....</i>	<i>104</i>
3.4.3. <i>Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 2.....</i>	<i>105</i>
3.4.4. <i>Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 3.....</i>	<i>106</i>
3.4.5. <i>Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 4.....</i>	<i>107</i>
3.4.6. <i>Comparación de máximas distorsiones relativas de Eco-domo 0, Eco-domo 1, Eco-domo 2, Eco-domo 3 y Eco-domo 4.....</i>	<i>108</i>
3.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	110
3.5.1. <i>Prueba de normalidad.....</i>	<i>110</i>
3.5.1.1. <i>Formulación de la hipótesis.....</i>	<i>110</i>
3.5.1.2. <i>Nivel de significancia.....</i>	<i>110</i>
3.5.1.3. <i>Elección de la prueba estadística.....</i>	<i>110</i>

3.5.1.4. Estimación de significancia	110
3.5.1.5. Toma de decisión	110
3.5.2. Prueba de análisis de varianza	111
3.5.2.1. Formulación de la hipótesis	111
3.5.2.2. Nivel de significancia	111
3.5.2.3. Elección de la prueba estadística	111
3.5.2.4. Estimación de significancia	111
3.5.2.5. Toma de decisión	111
CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	112
4.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	112
4.1.1. Análisis dinámico modal espectral	112
4.1.2. Análisis de desplazamientos	116
4.1.3. Análisis de distorsiones	125
4.1.4. Análisis de la prueba de hipótesis	129
4.2. CONCLUSIONES	131
4.3. RECOMENDACIONES	132
REFERENCIAS	134
ANEXOS	136

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: POSIBLE TIPO DE ESTABILIZACIÓN DEL SUELO PARA EARTH-BAG, EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE ARCILLA Y ARENA.....	41
TABLA 2: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN, POS-PRUEBA ÚNICA Y GRUPO CONTROL.....	59
TABLA 3: OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	60
TABLA 4: IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES.....	61
TABLA 5: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA VARIABLE INDEPENDIENTE.....	63
TABLA 6: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA VARIABLE DEPENDIENTE.....	63
TABLA 7: PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS.....	65
TABLA 8: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CASAS ECO-DOMO.....	68
TABLA 9: UBICACIÓN Y TIPO DE VANOS EN LAS CASAS ECO-DOMO DE ACUERDO AL CUADRANTE EN EL QUE SE ENCUENTRAN.....	69
TABLA 10: CARACTERIZACIÓN DE LOS VANOS PRESENTES EN EL ANÁLISIS DE LAS CASAS ECO-DOMO.....	70
TABLA 11: PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS DEL MATERIAL DE LOS EARTH-BAGS.....	79
TABLA 12: CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE SECCIÓN EN EL ECO-DOMO.....	80
TABLA 13: FACTOR ESCALA PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ECO-DOMO 0.....	92
TABLA 14: FACTOR ESCALA PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ECO-DOMO 1.....	93
TABLA 15: FACTOR ESCALA PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ECO-DOMO 2.....	93
TABLA 16: FACTOR ESCALA PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ECO-DOMO 3.....	94
TABLA 17: FACTOR ESCALA PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO DE ECO-DOMO 4.....	95
TABLA 18: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS Y DISTORSIONES RELATIVAS PARA ECO-DOMO 0....	103
TABLA 19: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS Y DISTORSIONES RELATIVAS PARA ECO-DOMO 1...	104
TABLA 20: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS Y DISTORSIONES RELATIVAS PARA ECO-DOMO 2...	105
TABLA 21: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS Y DISTORSIONES RELATIVAS PARA ECO-DOMO 3...	106
TABLA 22: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS Y DISTORSIONES RELATIVAS PARA ECO-4.....	107
TABLA 23: RESULTADOS DE PRUEBAS DE NORMALIDAD BAJO LA PRUEBA ESTADÍSTICA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV.....	110
TABLA 24: RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ANÁLISIS DE VARIANZA BAJO LA PRUEBA ESTADÍSTICA DE ANOVA DE UNA VÍA DE KRUSKAL-WALLIS.....	111
TABLA 25: MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTO.....	136

TABLA 26: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	137
TABLA 27: MATRIZ DE EVALUACIÓN DE INSTRUMENTO VALIDADA POR EXPERTO.....	138
TABLA 28: FICHA DE HOJA DE FICHA DE DATOS VALIDADA	139
TABLA 29: HOJA DE FICHA DE DATOS N°1, ECO-DOMO 0 DISTORSIONES RELATIVAS EN "X"	140
TABLA 30: HOJA DE FICHA DE DATOS N°2, ECO-DOMO 0 DISTORSIONES RELATIVAS EN "Y"	141
TABLA 31: HOJA DE FICHA DE DATOS N°3, ECO-DOMO 1 DISTORSIONES RELATIVAS EN "X"	142
TABLA 32: HOJA DE FICHA DE DATOS N°4, ECO-DOMO 1 DISTORSIONES RELATIVAS EN "Y"	143
TABLA 33: HOJA DE FICHA DE DATOS N°5, ECO-DOMO 2 DISTORSIONES RELATIVAS EN "X"	144
TABLA 34: HOJA DE FICHA DE DATOS N°6, ECO-DOMO 2 DISTORSIONES RELATIVAS EN "Y"	145
TABLA 35: HOJA DE FICHA DE DATOS N°7, ECO-DOMO 3 DISTORSIONES RELATIVAS EN "X"	146
TABLA 36: HOJA DE FICHA DE DATOS N°8, ECO-DOMO 3 DISTORSIONES RELATIVAS EN "Y"	147
TABLA 37: HOJA DE FICHA DE DATOS N°9, ECO-DOMO 4 DISTORSIONES RELATIVAS EN "X"	148
TABLA 38: HOJA DE FICHA DE DATOS N°10, ECO-DOMO 4 DISTORSIONES RELATIVAS EN "Y"	149
TABLA 39: FICHA DE DATOS DEL ECO-DOMO 3 SIN REALIZAR LA CORRECCIÓN DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS POR IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ, DISTORSIONES RELATIVAS EN "X"	150
TABLA 40: FICHA DE DATOS DEL ECO-DOMO 3 SIN REALIZAR LA CORRECCIÓN DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS POR IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ, DISTORSIONES RELATIVAS EN "Y"	151
TABLA 41: TABLA DE EVALUACIÓN IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ PARA EL ECO-DOMO 3 SIN CORRECCIÓN DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍMICAS, DISTORSIONES EN "X"	152
TABLA 42: TABLA DE EVALUACIÓN IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ PARA EL ECO-DOMO 3 SIN CORRECCIÓN DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE FUERZAS SÍMICAS, DISTORSIONES EN "Y"	153
TABLA 43: ECO-DOMO 0, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "X"	154
TABLA 44: ECO-DOMO 0, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "Y"	155
TABLA 45: ECO-DOMO 1, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "X".....	156
TABLA 46: ECO-DOMO 1, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "Y"	157
TABLA 47: ECO-DOMO 2, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "X"	158
TABLA 48: ECO-DOMO 2, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "Y"	159
TABLA 49: ECO-DOMO 3, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "X"	160

TABLA 50: ECO-DOMO 3, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "Y"	161
TABLA 51: ECO-DOMO 4, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "X"	162
TABLA 52: ECO-DOMO 4, EVALUACIÓN DE IRREGULARIDAD POR RIGIDEZ EN "Y"	163
TABLA 53: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "X" EN EL PRIMER CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0.....	164
TABLA 54: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "X" EN EL SEGUNDO CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0	165
TABLA 55: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "X" EN EL TERCER CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0.....	166
TABLA 56: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "X" EN EL CUARTO CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0.....	167
TABLA 57: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "Y" EN EL PRIMER CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0.....	168
TABLA 58: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "Y" EN EL SEGUNDO CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0	169
TABLA 59: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "Y" EN EL TERCER CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0.....	170
TABLA 60: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS "Y" EN EL CUARTO CUADRANTE DE LOS ECO-DOMOS 1, 2, 3 Y 4 CON RESPECTO DEL ECO-DOMO 0.....	171
TABLA 61: TABLA DE COEFICIENTES SÍSMICOS PARA ESTRUCTURAS ATÍPICAS, ASCE STANDARD 7-05	172

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 MODELO ECO-DOMO CON EARTH-BAG	38
FIGURA 2 ESTRUCTURAS CON EARTH-BAG CONTINUOS (ARRIBA) Y CON EARTH-BAG INDIVIDUALES (ABAJO).....	39
FIGURA 3 SACOS UTILIZADOS COMO ENCOFRADO PARA GENERAR HILADAS EN LOS ECO-DOMOS	42
FIGURA 4 CÚPULA REGULAR (IZQUIERDA), CÚPULA EN VOLADIZO (DERECHA).....	44
FIGURA 5 ARCO OJIVAL APUNTADO	44
FIGURA 6 DETALLE DE LA GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ECO-DOMO	45
FIGURA 7 PARTES QUE CONFORMAN UN ECO-DOMO DE EARTH-BAG	47
FIGURA 8 COMPAS CENTRAL Y DE ALTURA PARA LOGRAR LA FORMA DE CÚPULA DEL ECO- DOMO	48
FIGURA 9 PROFUNDIDAD DE ZANJAS DE BASE DEL ECO-DOMO	49
FIGURA 10 COMPACTACIÓN DE LA TIERRA CON UN PISÓN HASTA TENER UNA SUPERFICIE PLANA Y REGULAR.....	50
FIGURA 11 MICRO-MODELADO (IZQUIERDA), MICRO MODELADO SIMPLIFICADO (MEDIO), MACRO-MODELADO (DERECHA)	54
FIGURA 12 ELEMENTOS DE MESO-ESCALA (MACORINI E IZZUDDIN 2010)	56
FIGURA 13 ESTRUCTURA DEL PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE TESIS.....	66
FIGURA 14: ECO-DOMO DIVIDIDO EN CUATRO CUADRANTES	69
FIGURA 15: CONFIGURACIÓN DE UNIDADES.....	71
FIGURA 16: TRAZO DE LÍNEAS QUE REPRESENTEN EL DIÁMETRO Y ANCHO DE MUROS	71
FIGURA 17: TRAZO DE CÍRCULOS DESDE LOS EXTREMOS DE LOS ANCHOS DE MURO HACIA LOS EXTREMOS DEL DIÁMETRO INTERIOR DEL DOMO	72
FIGURA 18: ELIMINACIÓN DE LÍNEAS INNECESARIAS PARA OBTENER LA SECCIÓN DEL DOMO EN ALTURA.....	72
FIGURA 19: TRAZO DE LÍNEA PARALELA A LA CARA INTERNA DEL MURO PARA HACER EL DISEÑO EN 3D EN AUTOCAD Y POSTERIORMENTE EXPORTAR A SAP2000.....	73
FIGURA 20: ROTACIÓN DEL MODELO PARA QUE SE ENCUENTRE EN SENTIDO VERTICAL.....	74
FIGURA 21: CONFIGURACIÓN DEL NÚMERO DE DIVISIONES MERIDIONALES	74
FIGURA 22: DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE DIVISIONES EN ALTURA MEDIANTE EL COMANDO SURFTAB2.....	75

FIGURA 23: CREACIÓN DE SUPERFICIE MEDIANTE EL COMANDO MESH-MODELING MESHES- REVOLVED SURFACE.....	75
FIGURA 24: SELECCIÓN DEL OBJETO DE REVOLUCIÓN Y DEL EJE EN EL QUE SE HARÁ LA REVOLUCIÓN DEL OBJETO.....	76
FIGURA 25: HACER COINCIDIR EL ORIGEN DE COORDENADAS CON EL CENTRO DE LA BASE DEL ECO-DOMO.....	76
FIGURA 26: DISCRETIZACION DE LAS SUPERFICIES DEL DOMO	77
FIGURA 27: GUARDADO CON LA EXTENSIÓN .DXF.....	77
FIGURA 28: ABERTURAS DE VENTANAS Y/O PUERTAS.....	78
FIGURA 29: GUARDADO CON LA EXTENSIÓN .DXF DE MODELACIÓN CON ABERTURAS	78
FIGURA 30: SECCIONES DEL ECO-DOMO	80
FIGURA 31: MODELO EN BLANCO AL INICIAR EL SOFTWARE ETABS.....	83
FIGURA 32: IMPORTACIÓN DE DATOS DESDE EL ARCHIVO AUTOCAD	84
FIGURA 33: CONFIGURACIÓN DE DATOS DE IMPORTACIÓN	84
FIGURA 34 DEFINICIÓN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL.....	85
FIGURA 35: CREACIÓN DE DOS NUEVAS SECCIONES DE MATERIALES TIPO SHELL -THICK	85
FIGURA 36: ASIGNACIÓN DE TIPO DE SECCIÓN AL DOMO.....	86
FIGURA 37: DEFINICIÓN DE CORTANTE BASAL, PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO.....	87
FIGURA 38: CREACIÓN DEL ESPECTRO DE ACELERACIONES	87
FIGURA 39: DEFINICIÓN DE CASOS DE CARGAS PARA EL ANÁLISIS DINAMICO.....	88
FIGURA 40: DEFINICIÓN DE CASO MODAL	88
FIGURA 41: DEFINICIÓN DEL FACTOR DE MULTIPLICACIÓN PARA DESPLAZAMIENTOS.....	89
FIGURA 42: GRABADO DEL ARCHIVO CON EXTENSIÓN .EDB	89
FIGURA 43 PORCENTAJE DE MASAS PARTICIPATIVA EN ECO-DOMO 0 (SIN VANOS)	90
FIGURA 44 PORCENTAJE DE MASAS PARTICIPATIVA EN ECO-DOMO 1 (CON 1 VANO).....	90
FIGURA 45 PORCENTAJE DE MASAS PARTICIPATIVA EN ECO-DOMO 2 (CON 2 VANOS).....	91
FIGURA 46 PORCENTAJE DE MASAS PARTICIPATIVA EN ECO-DOMO 3 (CON 3 VANOS).....	91
FIGURA 47 PORCENTAJE DE MASAS PARTICIPATIVA EN ECO-DOMO 4 (CON 4 VANOS).....	91
FIGURA 48 MÁXIMA CORTANTE BASAL DINÁMICA Y ESTÁTICA EN ECO-DOMO 0.....	92
FIGURA 49 MÁXIMA CORTANTE BASAL DINÁMICA Y ESTÁTICA EN ECO-DOMO 1	92
FIGURA 50 MÁXIMA CORTANTE BASAL DINÁMICA Y ESTÁTICA EN ECO-DOMO 2.....	93
FIGURA 51 MÁXIMA CORTANTE BASAL DINÁMICA Y ESTÁTICA EN ECO-DOMO 3.....	94
FIGURA 52 MÁXIMA CORTANTE BASAL DINÁMICA Y ESTÁTICA EN ECO-DOMO 4.....	94

FIGURA 53: GRÁFICOS DE IDEALIZACIÓN DEL ANÁLISIS SÍSMICO EN LOS ECO-DOMOS	95
FIGURA 54: CUADRANTES PERPENDICULARES Y PARALELOS A LA DIRECCIÓN DE SISMO "X" ..	116
FIGURA 55: CUADRANTES PERPENDICULARES Y PARALELOS A LA DIRECCIÓN DE SISMO "Y" ..	116
FIGURA 56: ECO-DOMO 1, CON SISMO EN "X", MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "X" DE COLOR CELESTE, MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "Y" COLOR AZUL	118
FIGURA 57: ECO-DOMO 2, CON SISMO EN "X", MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "X" DE COLOR CELESTE, MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "Y" COLOR AZUL	119
FIGURA 58: ECO-DOMO 2, SISMO "Y", MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "X" DE COLOR CELESTE, MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "Y" COLOR AZUL	120
FIGURA 59: ECO-DOMO 3, SISMO "Y", MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "X" DE COLOR CELESTE, MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "Y" COLOR AZUL	121
FIGURA 60: ECO-DOMO 4, SISMO "Y", MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "X" DE COLOR CELESTE, MUROS QUE APORTAN RIGIDEZ EN "Y" COLOR AZUL	122
FIGURA 61: ECO-DOMO DIVIDO EN CUATRO SECCIONES, SECCIÓN 1 (HILADA 1 A 4), SECCIÓN 2 (HILADA 5 A 8), SECCIÓN 3 (HILADA 9 A LA 17) Y SECCIÓN 4 (HILADA 18 A LA 21)	126
FIGURA 62 MODELACIÓN ECO-DOMO 0 (ECO DOMO SIN VANOS)	172
FIGURA 63 MODELACIÓN ECO-DOMO 1 (ECO DOMO CON 1 VANO)	172
FIGURA 64: MODELACIÓN ECO-DOMO 2 (ECO DOMO CON 2 VANOS)	172
FIGURA 65: MODELACIÓN ECO-DOMO 3 (ECO DOMO CON 3 VANOS)	172
FIGURA 66: MODELACIÓN ECO-DOMO 4 (ECO DOMO CON 4 VANOS)	172

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: DESPLAZAMIENTOS EN X, ECO-DOMO 0	96
GRÁFICO 2: DESPLAZAMIENTOS EN Y, ECO-DOMO 0	96
GRÁFICO 3: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS DEL CUADRANTE 3 VS EL CUADRANTE 4 EN EL ECO-DOMO 0	97
GRÁFICO 4: DESPLAZAMIENTOS EN X, ECO-DOMO 1	98
GRÁFICO 5: DESPLAZAMIENTOS EN Y, ECO-DOMO 1	98
GRÁFICO 6: DESPLAZAMIENTOS EN X, ECO-DOMO 2	99
GRÁFICO 7: DESPLAZAMIENTOS EN Y, ECO-DOMO 2	99
GRÁFICO 8: DESPLAZAMIENTOS EN X, ECO-DOMO 3	100
GRÁFICO 9: DESPLAZAMIENTOS EN Y, ECO-DOMO 3	100
GRÁFICO 10: DESPLAZAMIENTOS EN X, ECO-DOMO 4	101
GRÁFICO 11: DESPLAZAMIENTOS EN Y, ECO-DOMO 4	101
GRÁFICO 12: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS X CON RESPECTO AL ECO- DOMO 0	102
GRÁFICO 13: PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN Y CON RESPECTO AL ECO- DOMO 0	102
GRÁFICO 14: COMPARACIÓN DE MÁXIMAS DISTORSIONES RELATIVAS EN X DEL ECO-DOMO 0, ECO-DOMO 1, ECO-DOMO 2, ECO-DOMO 3 Y ECO-DOMO 4.....	108
GRÁFICO 15: COMPARACIÓN DE MÁXIMAS DISTORSIONES RELATIVAS EN Y DEL ECO-DOMO 0, ECO-DOMO 1, ECO-DOMO 2, ECO-DOMO 3 Y ECO-DOMO 4.....	109
GRÁFICO 16: COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE ACUMULADO DE MASA PARTICIPATIVA EN LOS ECO-DOMOS, EN EL MODO 3.....	113
GRÁFICO 17: COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES DINÁMICAS EN "Y" VS FUERZAS CORTANTES ESTÁTICAS EN "Y"	114
GRÁFICO 18: COMPARACIÓN DE FUERZAS CORTANTES DINÁMICAS EN "X" VS FUERZAS CORTANTES ESTÁTICAS EN "X"	115

RESUMEN

La presente investigación se realizó en Trujillo, en la Universidad Privada del Norte, se tiene por objetivo determinar la influencia significativa del número de vanos en las distorsiones sísmicas en viviendas modelo eco-domos arco ojival apuntado. La presente investigación tiene un diseño experimental de tipo cuasi experimental. Se cuenta con el diseño de pos-prueba única y grupo control. No contamos con una población de estudio en específico, por tratarse de una innovación, sin embargo, para efectos de análisis sísmico los eco-domos serán contextualizados en el distrito de La Encañada, Cajamarca. Se determinó la modelación de cinco viviendas mediante la técnica de muestreo no probabilístico mediante la evaluación de juicio por experto. La técnica de recolección de datos fue mediante la técnica de la observación directa, apoyados de la herramienta Etabs y el instrumento hoja de ficha de datos. Se modelaron y analizaron 5 viviendas modelo eco-domo arco ojival apuntado y se generaron vanos en su superficie, simulando puertas y ventanas. Se realizó el análisis dinámico modal espectral, donde se obtuvo sus máximos desplazamientos y se calcularon sus distorsiones. Los resultados muestran que la distorsión relativa en “X” y distorsión relativa en “Y” no existe influencia significativa a nivel global del Eco-domo. Pues la adición de vanos solo afecta en mayor proporción a las hiladas en las que se realiza las discontinuidades por la presencia de vanos.

CAPITULO I. INTRODUCCION

1.1. Realidad problemática

El mundo ya nos ha presentado diversos casos de los efectos catastróficos que se puede tener al construir edificaciones poco seguras en zonas vulnerables a fenómenos eventuales como sismos, friajes, intensas lluvias y/o deslizamientos ejemplos claros tenemos el terremoto de Pisco del 2007, el fenómeno del niño costero del 2017, así como los friajes e intensas lluvias que sufren los pobladores de la sierra peruana, de la zona rural año a año. Además, si a esto sumamos que posterior a estos fenómenos naturales, los refugios que se brindan a la población afectada a base de tiendas de campaña y módulos temporales, no son los más adecuados, pues carecen de un plan de contingencia para resistir un fenómeno natural de igual o mayor magnitud a corto plazo, además de no asegurar un confort adecuado en la cual se pueda prevenir enfermedades y epidemias. Los Eco-Domos bajo la técnica constructiva de Earth-bag es una solución innovadora para dichos problemas que hoy se afrontan. Es por ello que evaluar su calidad como nuevo material de construcción y el análisis de su comportamiento en estructuras ante fenómenos eventuales es imprescindible, pues de esta manera podremos disponer de estructuras que respondan a solicitudes de seguridad y habitabilidad a bajo costo y que son amigables con el medio ambiente.

En España, Rodríguez (2017) realizó un estudio denominado “Estrategias de simulación numérica para las paredes y arcos superadobe” en donde estudio varios modelos, tanto de muros como de arcos, sujetos a diferentes disposiciones de carga considerando tres tipos de construcciones: construcciones simples, construcciones añadiendo alambre de espino y construcciones estabilizando el relleno de las bolsas, teniendo como objetivo el análisis de estas estructuras utilizando el método de los elementos finitos, evaluando su compatibilidad y aplicabilidad al superadobe.

En el mismo país, años anteriores, Canadell (2014) en su tesis “Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe” pretendió desarrollar las bases de cálculo para realizar las comprobaciones estructurales con fundamento teórico y no solamente confiar en datos empíricos, así como desarrollar una herramienta de cálculo que sea simple y asequible para que un usuario pueda verificar las comprobaciones de seguridad estructural, además argumentó que resulta amigable el uso de estructuras de Earth-bag por temas tanto económicos y como de sostenibilidad, es por ello que dichas construcciones han ganado popularidad en la última década, sin embargo, sostiene que aún se siguen utilizando reglas empíricas para el dimensionamiento de estas, teniendo como causa principal que los modelamientos estructurales de estudios anteriores no abarcan el comportamiento completo de una estructura a base de Earth-bag.

Por otro lado, en Bath-Inglaterra, Croft (2011) culminaba una campaña investigativa de tres años en la Universidad de Bath acerca del comportamiento de estructuras de Earth-bags, aportando con su tema de investigación denominado “Resistencia de las estructuras de Earth-bags frente a cargas horizontales”, en la cual se probaron en paredes, la aplicación de carga en sentido longitudinal y perpendicular a la longitud, haciéndose comparaciones con los modelos teóricos. Destaca que modelos teóricos en los cuales, para la carga en el plano mostraron una buena correlación con los experimentos, aunque un modelado imperfecto resultó en predicciones erróneas para el modo de fallo de las paredes sujetas a la carga fuera del plano.

Por su parte, en la misma ciudad de Inglaterra, Vadgama (2010) argumentaba que la realización de estructuras teniendo como material principal Earth-bags ha tenido un gran apogeo la década pasada, sin embargo, aún no se ha llegado a conocer de manera certera

su comportamiento estructural es estas edificaciones, teniendo como base para su diseño la experiencia previa o prueba-error. Es por ello, que el aporta a la campaña investigativa de la Universidad de Bath con su tesis titulada “La resistencia estructural de vivienda de Earth-bag” en la cual trata de investigar la mecánica de materiales Earth-bags y establecer una serie de parámetros de los materiales que ayudarán en el diseño de estructuras de Earth-bags. Investigó el comportamiento de este material de construcción bajo compresión uniaxial teniendo en cuenta el efecto de nivel de llenado de material, altura de la pila, la adición de estabilizador y material de la bolsa en la resistencia a la compresión. Esta tesis proporciona una penetración en el comportamiento del material y estructural de Earth-bags. Además, establece un conjunto de parámetros estructurales para el diseño y la investigación sobre el comportamiento de Earth-bags en sistemas estructurales definidas.

En Inglaterra, en la Universidad de Bath, Pelly (2009) iniciaba la campaña investigativa de análisis de estructuras a base de Earth-bags, haciendo referencia a un proyecto de cúpula Earth-bags planificada en el desierto de Namib, Namibia plasmándola en su tesis “Análisis de límite de plástico de estructuras de Earth-bags” en ella lleva a cabo un análisis experimental detallado de la fuerza y el rendimiento estructural de construcciones de Earth-bags. Un intento de modelar el comportamiento de los arcos Earth-bags utilizando el análisis arco límite plástico, y las conclusiones extraídas en cuanto a su aplicabilidad a este método de construcción.

Por otro lado, en Ontario-Canadá, Callaghan (2008) en su afán de ampliar la comprensión cuantitativa de esta técnica de construcción alternativa, estudio el comportamiento estructural de una vivienda construida a base de Earth-bag y su aplicabilidad en países

en desarrollo, en la cual explora el comportamiento estructural de la vivienda de Earth-bag bajo cargas de compresión vertical, junto a esta técnica evalúa otras técnicas de construcción alternativas, para determinar su idoneidad de aplicabilidad en el sur de Sri Lanka, un área muy dañada por el tsunami del Océano Índico del 2004.

El Perú no es ajeno a esta innovadora técnica de construcción, Vermiglio (2017) por su parte comenta que el adobe es el material de construcción más antiguo conocido y que su elaboración ha logrado avances significativos desde el adobe tradicional seguido del adobe compactado y el súper adobe o Earth-bags, tecnología que en la mayoría de casos no es aplicada en las construcciones por su desconocimiento de los propietarios y la ignorancia de los beneficios que estos traen consigo, es por ello que en su investigación, “Comparación de la resistencia a compresión uniaxial en unidades de adobe tradicional, adobe compactado y superadobe, Cajamarca 2017” se propuso demostrar que el súper adobe presenta una mayor resistencia a la compresión uniaxial con respecto a los otros tipos de adobes antes mencionados.

En nuestra región también se tiene referencias en esta rama, como la investigación por Alcántara (2019) en la cual investigó el comportamiento estructural del modelo de una casa Eco-domo considerando como variantes principales el tipo de arco ojival apuntado y arco ojival equilátero, modelando y analizando su comportamiento en el programa Sap2000 Versión Educativa, frente a deformaciones, fuerzas y esfuerzos internos.

De las referencias citadas anteriormente podemos darnos cuenta que a nivel internacional las construcciones bajo la técnica constructiva de Earth-bag han sido analizadas en su mayoría empíricamente teniendo como base de su diseño la prueba error o experiencia

previa teniendo resultados altamente favorables tanto en cuestiones de seguridad y confort, sin embargo, el conocimiento sobre el análisis del comportamiento estructural a priori aun es escaso, estando sujeto dicho comportamiento estructural a varios factores teniendo como principales variables el ancho de los súper adobe o Earth-bag, cantidad y tipo de vanos presentes, tipo de cimentaciones, tipo de diseño del arco en las cúpulas, entre otras más.

Según Vadgama (2010) concluyo que la probabilidad de que las Earth-bag fallen por compresión en una estructura es poco probable. Además, el modelo teórico simplificado actual que asume una sección transversal con perfiles semicirculares laterales proporciona estimaciones de la capacidad de carga vertical de las bolsas de tierra son aceptable. Por otro lado, también se halló que adicionando un 4% de cemento a las Earth-bag aumenta la capacidad de carga del arco en un 76% y alterando de esta manera el comportamiento general del arco a una estructura elástica lineal de hasta 6 kN de carga aplicada.

De acuerdo con Croft (2011) demostró que el alambre de púas colocados entre los Earth-bags proporciona un enlace de corte suficiente para evitar fallas por deslizamiento, al igual que al incorporar acero de refuerzo este hace alcanzar mayores fortalezas al momento de ser ensayadas en un muro de Earth-bags. Los modelos teóricos para la carga en el plano mostraron una buena correlación con los experimentos, aunque el modelado imperfecto resultó en predicciones erróneas para el modo de falla de las paredes sujetas a una carga fuera del plano.

Canadell (2014) después de someter a diferentes pruebas a cúpulas de Earth-bags con diferentes métodos, entre ellas el método de elementos finitos, concluyó que en las estructuras bajo la técnica constructiva de Earth-bags los dos criterios más probable de colapso en un muro serían el vuelco global y el pandeo de estos, mientras que el criterio menos probable de fallo sería el de agotamiento por compresión del Earth-bag. Por otro lado, sustenta que la variable más influyente en la seguridad estructural es el ancho del saco, la cual junto con la variable de altura rigen de manera directa o indirectamente todas las comprobaciones. Contrariamente, la contribución del alambre en muros de superadobe es muy pequeña, ya que solo actúa frente al deslizamiento.

Por su parte Alcántara (2019) de su investigación “Diseño y comportamiento estructural de una casa modelo Eco-domo” utilizando el método de elementos finitos concluyó que en los modelamientos en Sap2000 para todos sus diseños se mostraron desplazamientos mayores en la coronación siendo todos ellos mayores a un centímetro y las menores deformaciones siendo en las primeras hiladas, teniendo deformaciones menores a un centímetro, además demostró que el arco ojival apuntado genera hasta un 9.138% de mayores deformaciones frente al arco ojival equilátero.

En concordancia con las investigaciones citadas podemos notar que los elementos estructurales a base de Earth-bag aún no cuentan con una metodología definida para que su modelamiento a priori sea analizado de manera más integral, sin embargo, Alcántara Arce y Canadell Ruiz en sus investigaciones correspondientes nos muestran pasos a seguir para realizar el modelamiento mediante el método de elementos finitos de manera de obtener datos los más acertados posibles. De las investigaciones de Croft, y Vadgama, podemos observar que al estudiar los Earth-bag de manera individual, pudieron definir

algunas de sus propiedades físico-mecánicas, como la resistencia a la compresión y al deslizamiento, estas propiedades también fueron evaluadas alterando la naturaleza de las Earth-bag adicionando cemento en porcentajes relativamente bajos, observando notablemente la mejora de dichas propiedades. También podemos rescatar que las principales variables del comportamiento estructural en un Eco-domo es el ancho de la bolsa de Earth-bag, el número de vanos con el que cuenta la estructura y el tipo de cimentación donde se asienta dicha estructura, así como la altura y tipo de arco de la cúpula.

Cal-Earth, el Instituto de Arte y Arquitectura de la Tierra de California es la organización promotora principal de esta técnica sostenible de construcción desde sus inicios con su fundador el arquitecto Nader Khalili.

El California Institute of Earth Architecture (2019) comenta que:

Los diseños de Cal-Earth han sido estudiados por la NASA, respaldados y utilizados por las Naciones Unidas, presentados en innumerables medios de comunicación mundiales y galardonados con el prestigioso Premio Aga Khan de Arquitectura. Nuestro sistema de construcción Superadobe (Patente de EE. UU. N° 5.934.027) integra la arquitectura tradicional de la tierra con los requisitos de seguridad globales contemporáneos, y ha pasado pruebas de códigos de terremotos en California.

Por su parte Domoterra es una organización pionera y líder en España en difundir, formar y construir bajo la técnica de Saco Continuo de Tierra Estabilizada, también conocida como Earth-Bag o Superadobe, creada por el arquitecto iraní Nader Khalili.

Domo Terra (2019) comenta que:

Esta empresa cuenta con el equipo de profesionales capacitados con la técnica de Súper-adobe con diplomados emitidos por The Institute of Earth Institute of Art and Architecture of California, Cal-Earth (USA) [...] Entre otros proyectos Domoterra ha construido una de las mayores edificaciones con la técnica de Superadobe en todo el mundo, con 145 m², siendo la primera casa de Superadobe en España, con las licencias y permisos correspondientes, así como con cédula de habitabilidad [...] Domoterra posee autorización expresa para la utilización de la patente Superadobe, por parte de la entidad legal propietaria.

Los Eco-Domos bajo la técnica constructiva de Earth-bag building es una solución bastante óptima para la solución del problema en el que se encuentra el Perú tanto en el ámbito de déficit habitacional en zonas rurales como también en la vulnerabilidad en la que se encuentran frente a fenómenos eventuales como sismos, friaje, intensas lluvias y/o deslizamientos. Sin embargo, esta solución no la ha adoptado el gobierno tanto nacional, regional como local, se supone que la razón principal es la pobreza investigativa que tiene este tema, sobre todo en estudios a nivel estructural en la cual sustenten un comportamiento estructural conservador antes fenómenos eventuales ya descritos.

El comportamiento estructural de Eco-domos ha sido estudiado de una manera relativamente pobre, desde la creación del concepto y técnica de Earth-bag por el arquitecto Nader Khalili, quien realizó los primeros modelamientos a nivel estructural para evaluar su comportamiento, las investigaciones han disminuido, la principal atribución de dicho efecto, se supone, el conformismo por la satisfactoria respuesta empírica que se obtuvo al momento de aplicarlos en proyectos sociales, tanto en el

aspecto estructural, económico y ecológico, dejando de lado la actitud investigadora para obtener el conocimiento de las variables que rigen tal comportamiento.

Desde su creación y aplicación de domos bajo la técnica constructiva de Earth-bag, la actitud investigativa del comportamiento estructural se ha estancado, un efecto claro de dicho suceso son las investigaciones referentes a este tema con desfases de años bastantes amplias, como lo muestran las investigaciones realizadas por Callaghan Daigle (2008), Canadell Ruiz (2014) y Alcántara Arce (2019).

Por su parte también el retraso de las investigaciones a nivel estructural se debe a la falta de atención profesional que se tiene en estructuras en forma de cúpulas de adobe dejando en la mayoría de casos su construcción de manera empírica y sin tener ningún seguimiento técnico. En el Perú aproximadamente la mitad de las viviendas son construcciones de tierra, siendo las principales unidades de construcción los ladrillos de barro, el tapial, y la quincha las cuales, en su mayoría al no ser analizadas su comportamiento estructural a priori, frente a las solicitaciones sísmicas establecidas, estas viviendas serían las más vulnerables, presentando comportamientos poco aceptables, no garantizando el resguardo de la vida de las personas que en ella habitan al encontrarse sus estructuras frente al colapso.

En la actualidad el RNE establecen ciertos parámetros de diseños para analizar el comportamiento estructural de las edificaciones a base de adobe, teniendo en cuenta factores que modificaban el comportamiento de la edificación de acuerdo a su variabilidad en altura, irregularidad de rigidez, irregularidad de resistencia, así como la irregularidad torsional, factores relacionados netamente con la forma y continuidad de elementos estructurales de la edificación, así como también de la interacción suelo estructura que esta tenga.

Para estructuras tipo eco-domos estos factores también deben de estar presentes en el diseño y análisis estructural para evaluar su comportamiento frente a fenómenos eventuales.

Alcántara (2019) por su parte investigo el comportamiento estructural de una casa tipo Eco-domo considerando el tipo de diseño arco ojival apuntado y arco ojival equilátero, teniendo como fin determinar el tipo de diseño de eco-domo con un comportamiento estructural más conservador.

Por otro lado Canadell (2014) realizo una investigación la cual tenía por objetivo desarrollar una herramienta de cálculo de fácil comprensión para que las personas interesadas en la comprobación de la seguridad estructural de dichas estructuras (Eco-domos) y así puedan realizar las verificaciones correspondientes. Además, también estudió el comportamiento estructural de Eco-domos teniendo como variable las distintas curvaturas en altura.

De los autores citados anteriormente podemos notar que el interés por el análisis estructural de Eco-domos ya va despertando, las investigaciones antes mencionadas han analizado factores como la variación de altura y variación de curvatura de los domos, sin embargo han dejado como líneas de investigación futura el análisis del comportamiento estructural que tendrían los Eco-domos bajo la influencia vanos, así como bajo la influencia del tipo de cimentación, factores de suma importancia en el análisis bajo fenómenos eventuales adversos.

Por otro lado, los vanos en una edificación son de vital importancia tenerlos en cuenta al momento de diseñarlos y evaluarlos en estructuras donde los muros cumplen una función de soporte de la edificación, pues con este tipo de muros, si los vanos son demasiado grandes y numerosos afectarían en la resistencia y rigidez de la estructura, volviéndoles más vulnerables ante fenómenos eventuales

1.2. Antecedentes de la investigación

“Diseño y comportamiento estructural de una casa modelo eco-domo”

Alcántara (2019) su objetivo fue determinar el comportamiento estructural de una casa modelo “Eco-domo”, creada por Nader Khalili, considerando el tipo de diseño arquitectónico: arco ojival apuntado y arco ojival equilátero. La investigación se realizó mediante el diseño de ocho casas con diferente diámetro y ancho de muro para ambos tipos de diseño luego, mediante el método de elementos finitos, se modeló y analizó el comportamiento estructural. Con la ayuda de la herramienta Sap2000 Versión Educacional, se pudo observar deformaciones, fuerzas y esfuerzos internos. Los resultados obtenidos en los eco-domos diseñados con ancho de muro 0.40 m, y diámetro 4.00 m, muestran que el mayor desplazamiento lo presenta el arco ojival apuntado con 3.132 cm de desplazamientos en la coronación con una diferencia de 2.63 cm respecto a los desplazamientos con arco ojival equilátero. Además, se obtiene que los desplazamientos mínimos menores a 1cm se encuentran en la base del eco-domo. También se muestra que, 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. Además, el eco-domo con arco ojival apuntado de 4m de diámetro y de 0.30m de ancho 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 -0.292Tn en la hilada 19. A partir del análisis de estos resultados se concluyó que los desplazamientos mayores a un centímetro se dan 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% mayores deformaciones frente al arco ojival equilátero. Además, se concluye también que, 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. (Pág. 102-103)

Esta investigación nos muestra el procedimiento de una propuesta para realizar en análisis de una casa modelo eco-domo utilizando el método de elementos finitos. Además, nos muestra los resultados obtenidos de su modelo estructural analizado, mostrándonos máximos desplazamientos, fuerzas y esfuerzos obtenidos, así como la ubicación donde se producen dichos fenómenos.

“Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe”

Canadell (2014) con el propósito de desarrollar las bases de cálculo para realizar las comprobaciones estructurales de domos de superadobe con fundamento teórico y no solamente en datos empíricos se planteó desarrollar una herramienta de cálculo simple

y asequible para que un usuario pueda verificar las comprobaciones de seguridad estructural de sus eco-domos. Para alcanzar dichos objetivos, se propone una serie de acciones, el primer paso sería realizar una propuesta de un método de cálculo adecuado para las características de las estructuras de Earth-bag, segundo paso comparación del resultado de las tensiones de la propuesta con otras teorías para validar su funcionamiento, tercer paso definir los mecanismos de estabilidad y resistentes para realizar las comprobaciones de la estructura, cuarto paso evaluar los resultados con el fin de garantizar seguridad estructural; de ser negativo el segundo paso, se vuelve a evaluar el primer paso. Se utilizó el cálculo mediante el método de elementos finitos (MEF) para contrastar resultados. Para obtener resultados mediante el método de elementos finitos, se utilizó el programa de estructuras Sap2000. Para ello se dibujó la curva de un arco ojival en AutoCAD y se exportó a Sap2000 donde se generó la superficie con la revolución de la curva alrededor del eje vertical, posteriormente se discretizó un domo de 4 metros de diámetro, en 20 divisiones en altura y 18 gajos de 20° cada uno. A continuación, se definió un espesor constante de 0,3 de material con las características mecánicas de compresión del adobe. Se han utilizado elementos tipo Shell thick y con una condición de apoyo libre con el suelo. En los resultados obtenidos por el método de elementos finitos se observa que las deformaciones son crecientes en altura y constante a lo largo de los paralelos. Además, se aprecia que 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. Se pudo concluir que, de todas las variables, la más influyente a la seguridad estructural es el ancho del saco. Esta variable, junto con la altura de la estructura, gobiernan directamente o indirectamente en casi todas las comprobaciones. Contrariamente, la contribución del alambre en muros de superadobe es muy pequeña, ya que solo actúa frente al deslizamiento. Por otro lado,

se puede notar que las tensiones entre hiladas pueden ser perimetrales en los anillos, si éstos son capaces de movilizarlas, o bien tensiones de rasante entre hiladas en caso contrario. Cabe señalar que normalmente en la parte superior de los domos trabajan los paralelos, pero no en la parte inferior, debido a la presencia de interrupciones en las hiladas por puertas y ventanas. (Pág. 92-93)

Esta investigación nos presenta métodos de cálculo en la que nos podemos ayudar para realizar el análisis estructural en cúpulas de Earth-bag como son: calculo por estática gráfica, calculo por teoría de la membrana, calculo por método de elementos finitos y el método propuesto en su investigación. Además, también nos presentan sus resultados y comparaciones de estos métodos, concluyendo que el método por elementos finitos es muy útil para verificar resultados al dimensionamiento dadas por las reglas fundamentales de Nader Khalili.

“Análisis paramétrico del comportamiento sísmico de domos de concreto armado de gran luz”

Barrera (2012) en su investigación se propone estimar las respuestas sísmicas elásticas de domos de concreto armado de gran luz mediante un modelo de elementos finitos más simple que los usualmente utilizados. Para ello se estudió una familia de 10 domos de concreto armado. La precisión del modelo fue evaluada mediante la comparación con los resultados obtenidos por modelos de elementos finitos más sofisticados. Para su modelado se tomaron las siguientes consideraciones que las cuales consisten en representar a la estructura continua tipo domo, como un elemento vertical en voladizo (empotramiento perfecto en la base y libre en el extremo opuesto) de eje recto y de sección variable. Dicho elemento lo conforman un número determinado de elementos

discretos tipo viga, los cuales están interconectados en un número finito de nudos. En tales nudos se consideran un total de dos grados de libertad (desplazamientos lateral y rotacional) y para representar las características inerciales del modelo se empleó el criterio de masas consistentes. Como sollicitación sísmica, se utilizó el espectro de diseño de pseudo-aceleraciones recomendado por la norma peruana de diseño sismo-resistente. Las respuestas modales fueron combinadas tanto con la regla de combinación CQC como con la regla de combinación recomendada por la NTP E.030. Al analizar los resultados se verificó que las deformaciones por cortante son relevantes en este tipo de estructura; además, el modelo proporciona resultados satisfactorios si se discretiza considerando 20 segmentos. Además, para los casos que se modeló el domo en 3D con elementos SHELL thick (gruesos), los cuales incluyen deformaciones por cortante transversal. Éstas son importantes en el caso que se tengan cáscaras clasificadas como gruesas. De los resultados obtenidos se pudo concluir que las propiedades físicas y mecánicas del material del domo que influyen en la respuesta elástica de éste son el módulo de elasticidad E , la densidad ρ y el coeficiente de Poisson ν . Además, los buenos resultados se obtienen en la estimación de momentos flectores y fuerzas cortantes elásticos sísmicos de domos de concreto armado modelando la estructura empleando estas consideraciones: Criterio de masas consistentes, efectos de deformaciones por corte y una discretización en 20 elementos. (Pág. 137)

La importancia de esta investigación radica en su metodología para modelar un domo y obtener datos fiables al momento de someterlo a cargas. Así como también nos muestra los factores de influencia directa en su comportamiento estructural.

“Estrategias de simulación numérica para las paredes y arcos superadobe”

Rodríguez (2017) tiene por objetivo el desarrollo de modelos numéricos simplificados capaz de simular con precisión el comportamiento de las estructuras Earth-bag. Además, intenta analizar este tipo de estructuras utilizando el método de elementos finitos, evaluando su idoneidad y aplicabilidad al superadobe. Para este propósito, se estudian varios modelos de paredes y arcos, sometidos a diferentes disposiciones de carga y considerando tres tipos de construcción, simple, agregando alambre de púas y estabilizando el relleno. Para ello inicialmente, se considera dos posibles modelos constitutivos, basados en Mohr Coulomb y Total tension crack, posteriormente se evalúa y compara para seleccionar el más adecuado para todos los casos estudiados. Posteriormente, todos los análisis se realizan y calibran para que coincidan con los resultados obtenidos de las campañas experimentales desarrolladas en la Universidad de Bath por Pelly (2009), Vagdama (2010) y Croft (2011). Finalmente, también se realiza un análisis de sensibilidad para examinar la influencia de ciertos parámetros, que tuvieron que ajustarse durante los análisis, en la respuesta estructural de los modelos. La calibración para coincidir con los resultados de los autores antes mencionados se basó en los parámetros: coeficiente de fricción sin alambre de púas de 0.43 (Pelly 2009), coeficiente de fricción con alambre de púas de 0.66 (Pelly 2009), adherencia sin alambre de púas 0 y adhesión con alambre de púas 8.15kPa (Pelly 2009), resistencia a la compresión 1.7MPa (Vagdama 2010), Modulo de Young 10MPa (Canadell 2010) coeficiente de Poisson 0.3 (Ansari et al 2011, Haddad y Bahredar 2012) y densidad de masa de 1756.70 Kg/m³ (2009 Pelly, Vagdama 2010). El resultado de los parámetros utilizados para el análisis de paredes con alambre de púas con no linealidad geométrica fueron un módulo de Young de 10MPa, coeficiente de Poisson de 0.3, densidad de masa de 1756.00 Kg/m³, resistencia a la tracción

0.30kPa, resistencia a la compresión de 1.3MPa. Por otro lado, para el arco que se estabiliza mediante la adición de un 5% de cemento en el relleno de arena, este proporciona cohesión y rigidez a las bolsas. Por lo tanto, los arcos construidos con esta mejora tienen una mayor resistencia a la compresión y la rigidez que los no estabilizados. Para la definición de los parámetros del modelo, la resistencia a la compresión se supone que es la misma que la calculada para las paredes estabilizadas. Sin embargo, la rigidez se ve que aumenta de forma significativa, y, por lo tanto, el módulo de Young tiene que ser calibrado junto con la resistencia a la tracción y la energía de fractura a la tracción. Los parámetros calibrados para el análisis de arcos estabilizados con linealidad geométrica fueron con módulo de Young de 50MPa, coeficiente de Poisson de 0.3, densidad de masa de 2177.3 Kg/m³, resistencia a la tracción 40kPa, resistencia a la compresión de 1.5MPa. Por otro lado, los parámetros calibrados para el análisis de paredes estabilizados con cemento fueron con módulo de Young de 15MPa, coeficiente de Poisson de 0.3, densidad de masa de 1756 Kg/m³, resistencia a la tracción 2.5kPa y resistencia a la compresión de 1.3MPa. De los resultados obtenidos se observó que, incluso si se ha alcanzado una orientación cerca del comportamiento real, no fue posible simular correctamente los modos de fallo que se producen en las estructuras Earth-bag. Esto es debido a la utilización de un macro-modelo con el que es imposible reproducir deslizamiento o deformaciones locales. (Pág. 109-110)

Esta investigación nos brinda información valiosa y de gran utilidad acerca de propiedades de los Earth-bag, en estructuras tipo paredes y arcos, sometidos a diferentes disposiciones de carga y considerando tres tipos de construcción, simple, agregando alambre de púas y estabilizando el relleno. las cuales nos serán de utilidad

al momento de caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de estructuras de Earth-bag que analizaremos, bajo el método de elementos finitos

“Comparación de la resistencia a compresión uniaxial en unidades de adobe tradicional, adobe compactado y superadobe, Cajamarca 2017”

Vermiglio (2017) se planteó como objetivo comparar de la resistencia a compresión uniaxial en unidades de adobe tradicional, adobe compactado y superadobe hechos en Cajamarca. Su investigación por su enfoque es cuantitativa; por su alcance es descriptiva; no experimental por el control en el diseño de la prueba y transversal por su temporalidad. Las muestras evaluadas tuvieron como material el suelo de la cantera Cruz Blanca de la ciudad de Cajamarca, en la cual se tomaron en cuenta los especímenes de 20 adobes tradicionales (Muestra patrón), 20 adobes compactados y 20 superadobe. Se recurrió únicamente a fuentes primarias, utilizando la técnica de observación directa mediante ensayos de laboratorio de las unidades de albañilería, utilizando como instrumentos fichas de recolección de datos de laboratorio estándar de la Universidad, cámara fotográfica, filmadora, instrumentos de laboratorio y prensa hidráulica. Se obtuvieron resultados que indican que todas las unidades de tierra probadas lograron una resistencia mucho mayor al esfuerzo de compresión mínimo aceptable, señalado en la Norma E.080 2017, la cual especifica un esfuerzo a compresión mínimo de 10.2 Kg/cm². Obteniéndose resistencias promedio de 18.96 Kg/cm² en adobes tradicionales, de 25.60 Kg/cm² en unidades de adobe compactado y las unidades de superadobe lograron una resistencia promedio de 28.05 Kg/cm², que representa un incremento en la resistencia sustancial, lo cual, tomando en cuenta la facilidad de manufactura y emplazamiento, justifica con creces su utilización, ya que el costo añadido de sólo los sacos y el alambre de púas para su emplazamiento, es despreciable en comparación a

lo ganado en tiempo y mano de obra. De los resultados obtenidos se concluyó que el superadobe mostró una mejora en resistencia de hasta 45.94% en comparación al adobe tradicional, y una mejora en resistencia de 34.93% en comparación a los especímenes de adobe compactado. Además, de acuerdo a las pruebas granulométricas, el material obtenido de la Cantera “Cruz Blanca” resultó ser adecuado para la fabricación de las muestras testeadas, observándose un índice plástico de 7.85 y un contenido de humedad óptima de 21.61%; debiendo añadir que el suelo empleado para la elaboración de los adobes fue tipo SC (Arena arcillosa), según su clasificación SUCS. (Pág. 52)

El aporte que da esta investigación es la información sobre las características físico mecánicas que presenta el súper adobe o Earth-bag como su resistencia a la compresión y peso específico. Además, realiza una comparación de las propiedades físico mecánicas de los Earth-bag o súper adobe con los adobes compactados y el adobe tradicional, concluyendo que los Earthbag tienen mejor comportamiento y resisten mayores cargas de compresión que los otros dos adobes.

“Estudio del comportamiento estructural de construcciones de tierra: La técnica constructiva Earth-bag”

Trigo (2015) tuvo como objetivo estudiar las características estructurales de construcciones con sacos de tierra (Earth-bag), mediante un análisis experimental de la resistencia a compresión y corte. Para ello realizó ocho ensayos de compresión no confinada: cuatro para el material estabilizado y cuatro para el relleno sin estabilizar. Se utilizó la Prensa Universal de Ensayos, Mod. MUE-60 (Serie ME-403), con capacidad de carga de 3000kN. Para el ensayo de corte directo, se utilizó un método alternativo que consiste en cargar horizontalmente con un gato hidráulico el Earth-

bag superior, mientras se aplica una carga normal constante al conjunto Earth-bag. La dirección de corte fue en el eje longitudinal de las bolsas y se testearon las muestras en seco. El programa considero ensayos de muestras estabilizadas y no estabilizadas, con y sin alambre de espino, para diversas cargas normales aplicadas. Para medir el desplazamiento en el eje de cizalle, se utilizó un sensor Strain Smart 5000 que se ubicó en la parte final del testigo superior de la pila Earth-bag. Los resultados obtenidos mostraron que las resistencias promedio a compresión para las muestras Earth-bag estabilizadas y no estabilizadas, fueron de 4.33MPa y 3.90MPa respectivamente. Por otro lado, se obtuvo un valor del coeficiente de 0,70 para las muestras con alambre de espinos y de 0,52 para las sin alambre, lo que denotaría que la inclusión del alambre de espinos mejora el coeficiente de fricción entre los sacos Earth-bag y le otorga a su vez una cohesión inicial al conjunto. Visualmente se pudo notar la influencia respecto al material de la bolsa, sobre la resistencia a la compresión ya que se observó una relación directa entre la resistencia a tracción del material de la bolsa y el fracaso a compresión. De los resultados se pudo concluir que el alambre de espinos no contribuye a un mejor desempeño estructural a cortante, más bien su uso sería de utilidad durante el proceso constructivo ya que otorga una cierta cohesión e impide el deslizamiento entre las hiladas mientras se está compactando. Además, resistencia al corte proporcionado por las púas del alambre de espinos dependería de varios factores tales como por ejemplo la densidad del suelo, resistencia y rigidez de las púas del alambre, la orientación y enganche de las púas entre los sacos y la correcta penetración en el material del Earth-bag. (Pág.54)

De la presente investigación se rescata los resultados obtenidos acerca de las propiedades físico mecánicas en unidades Earth-bags ensayadas a resistencia a la

compresión y al corte, las cuales serán de utilidad para compararlas y contextualizarlas al momento de elegir las propiedades que se darán a los Earth-bag para la presente tesis.

“Eco-domo, un hábitat para reducir la vulnerabilidad frente al friaje en el Perú”

Barnet y Jabrane (2015) tienen por objetivo evaluar la factibilidad de la propuesta de Eco-Domo, utilizando la técnica del “superadobe” empleando tierra como relleno y con mangas de plástico fabricadas en el Perú. Esta investigación es de tipo descriptivo ya que el objetivo fue determinar la pertinencia de un prototipo de vivienda tanto por su factibilidad constructiva y económica, como el resultado en término de habitabilidad. El procedimiento utilizado fue construir un modelo a escala 1/1 del diseño realizado, registrando cada etapa del proceso constructivo y analizar el resultado final tanto de forma cualitativa como cuantitativa. Se ha incidido en realizar una explicación más detallada y que aparece expuesta en el procedimiento. Los resultados de la investigación, se pudo observar que, durante el proceso constructivo, el principal defecto detectado fue la inestabilidad de las paredes en ambos lados de la puerta de entrada y la falta de protección de dicha puerta. Eso se corrigió en el diseño definitivo de la propuesta del Eco-Domo detallada en los planos anteriores. En cuanto a los dinteles de los vanos, el uso de llantas usadas como marco y encofrado dio resultados satisfactorios. pero es importante realizar un arco con las mangas para soportar la carga importante de la pared y añadir a lo menos 5% de cemento en la tierra en esos tramos. Por otro lado, sin contar los gastos de flete, la propuesta del Eco-Domo que ofrece 30m² habitable tiene un costo de aproximadamente S/. 3000 soles en materiales. El costo de la construcción del Eco-Domo se concentra en la mano de obra: valorizando el trabajo diario de un equipo de cuatro personas a S/.200 nuevos soles. El costo total de la mano

de obra para la construcción del proyecto es de S/.10 400 soles. De estos resultados mostrados se pudo concluir que la propuesta es viable económicamente para la comunidad si los habitantes construyen ellos mismos (de la misma manera que construyen sus viviendas actuales), sin tener que contratar a profesionales externos que representan un sobre costo que no pueden asumir. (Pág. 95)

La presente investigación nos brinda una base sobre el tipo de escenarios se puede emprender este tipo de estructuras eco-domos, así como también la elaboración de proyectos pilotos en comunidades andinas o en cualquiera de otras regiones del Perú donde se quiera construir con una técnica de bajo costo, alto poder aislante y una huella de carbono muy baja. Y a la vez tomar consideraciones del costo aproximado que tendría, así como también consideraciones que se tendrían en la fase constructiva.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Eco-domos o Earth-bag Building

1.3.1.1. Definición

El creador de los primeros Earth-bag building, Khalili (2011) definiría a los Eco-domos como: “Arriba y abajo: El concepto de refugio de emergencia. Rollos con saco de tierra escalonados hacia adentro en pequeñas cantidades, para formar una cúpula en forma de huevo”

Hunter & Kiffmeyer (2004) en su libro de construcción con súper adobe “Earth-bag building the tools tricks and techniques”, describen la forma del Eco-domo como: “la esencia del súper adobe”, pues en ella se contempla su mayor potencial.

De la literatura revisada podemos definir a los Eco-domos, como todas aquellas estructuras en formas de cúpulas que están elaboradas a base de Earth-bag o bolsas de tierra, en la cual, estas reúnen los requisitos mínimos para considerarse como habitables. Además, también se debe aclarar que se puede estabilizar la tierra que va dentro de los Earth bag, siempre y cuando esta no altere su naturaleza ecológica y de bajo costo.

Desde que se concibió el termino Earth-bag está a sido referida con diferentes nombres de acuerdo al contexto y país en el que se situaban las personas que difundían este término. Khalili (2011) Aclara que las definiciones que se han dado a las Earth-bags, como súper adobe, sacos de arena, sacos de tierra, rollos de tierra que no tienen ninguna diferencia con el concepto inicial.



Figura 1 Modelo Eco-domo con Earth-bag

Fuente: Khalili, (2011) Refugio de emergencia con sacos de tierra y eco-aldea: cómo construir el tuyo propio con superadobe [imagen] recuperado de <https://www.amazon.com/Refugio-Emergencia-Sacos-Tierra-eco-aldea-ebook/dp/B00YB0VVG2>

1.3.1.2. Técnica de construcción Earth-bag

La técnica de Earth-bag se basa rellenar tierra en sacos de polipropileno, los mismos que conforman hiladas, las cuales al sobreponerse de manera ordenadamente llegan a crear espacios cerrados. En esta técnica se utilizan generalmente sacos continuos, en forma tubular, la cual permite avanzar de una manera más rápida y eficiente, por motivo de que existen reducidos cierres de saco y la fase de llenado y colocación se producen en simultáneo. También se pueden utilizar sacos individuales, los cuales se llenan de tierra por separado, colocándose posteriormente uno al lado del otro. La mayoría de estructuras tipo domos se construyen con Earth-bag continuos, mientras que las estructuras rectangulares con Earth-bag individuales, sin embargo, estas observaciones no limitan su uso en casos contrarios. (Canadell, 2014)



Figura 2 Estructuras con Earth-bag continuos (arriba) y con Earth-bag individuales (abajo)

Fuente: Domo Terra (2019). Domoterra. Casas de Tierra, Espacios Vivos. [imagen] recuperado: <http://www.domoterra.es>

Desde las aportaciones de Nader Khalili y de la difusión de la técnica a través de las actividades de Cal-Earth, numerosas organizaciones humanitarias y particulares han encontrado en el Earth-bag una solución constructiva apta para sus necesidades, y por ello han experimentado con ella (Canadell, 2014).

Para este tipo de construcciones normalmente hay dos aplicaciones prácticas, la primera es la aplicación como refugios de emergencia y la segunda como casas ecológicas, para aplicaciones del segundo caso se realizan uniones de varios domos con el fin de ampliar su área útil y realizar divisiones dentro de ellas.

1.3.1.3. Materiales para construir Eco-domos

Para la construcción de un eco-domo tan solo se necesitan tres tipos de materiales: la tierra, el saco y el alambre. La flexibilidad de la técnica permite la utilización de cualquier material que aporte una adherencia entre cada hilada de sacos, sea en forma de cañas que guían a las hiladas o bien que atraviesan algunas de ellas.

1.3.1.3.1. La tierra

Según Canadell (2014) argumenta que:

La tierra es la esencia de la técnica del Earth-bag, todo gira en torno a ella. Es un material abundante y con buenas prestaciones a compresión. Se puede utilizar el material del emplazamiento donde se quiere construir, pero en ocasiones se compra para ahorrarse el trabajo de triturar la tierra para que éste suelta. Tampoco es imprescindible que el suelo sea muy resistente, ya que es posible mejorar sus propiedades mecánicas mediante

la estabilización con otras sustancias que se exponen a continuación. (pág. 22)

Por su parte Rodríguez (2017) comenta que:

El uso de la tierra como su principal material de construcción, y la idea inicial fue utilizar como Rellenar el suelo excavado del sitio. Sin embargo, dependiendo de las propiedades de este suelo, podría ser necesario estabilizarlo para mejorar sus propiedades mecánicas. Un buen suelo para estas construcciones debería tener alrededor de un 30% de arcilla, que proporciona cohesión al relleno, y debe equilibrarse con arena y grava gruesa. (pág. 25)

Tabla1
Posible tipo de estabilización del suelo para Earth-bag, en función del porcentaje de arcilla y arena

Tipo de suelo	% de arcilla	% de arena	Estabilización
arcilloso	> 40	<60	cal
bueno	30-40	70-60	no necesaria
arenoso	<30	>70	cemento / cal

Fuente: Canadell, S. (2014). "Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe". Barcelona - España.

1.3.1.3.2. El saco

Rodríguez (2017) Define al saco como:

Bolsa que se utiliza como una forma flexible que contiene la tierra y permite colocarla y apisonarla. Es muy importante durante el proceso de construcción, ya que permite continuar construyendo sin tener que esperar

al relleno para curar y proporciona resistencia a la tracción a la estructura.

Las bolsas utilizadas para estas construcciones son principalmente de dos tipos de materiales: arpillera o polipropileno. (pág. 26)

Así mismo, Canadell (2014) argumenta que:

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. (pág. 22)



Figura 3 Sacos utilizados como encofrado para generar hiladas en los eco-domos

Fuente: Canadell, S. (2014). “Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe”. [imagen]

De los autores citados podemos definir al saco como el elemento que contendrá la tierra, el cual podrá ser material de polipropileno o de arpillera, este saco cumple la función de dar una mejor facilidad al momento de la construcción, sirviendo como encofrado y

a su vez, por la transpirabilidad que esta genera, a la ayuda al curado de los Earth-bag en caso estos sean estabilizados.

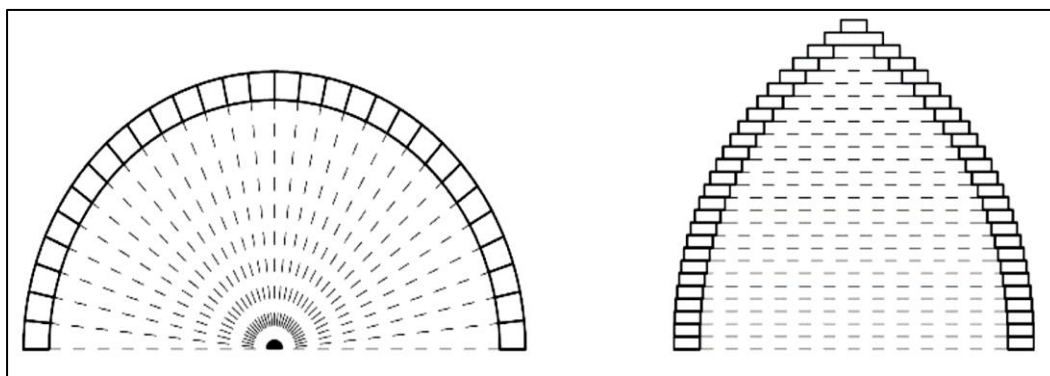
1.3.1.3.3. El alambre de púas

Para Rodríguez (2017) definiría al alambre de púas como el mortero de la estructura Earth-bag, pues en ella le adiciona cohesión y genera uniones firmemente en las hiladas. Además, mejora el confinamiento lateral de cada curso la disminución de la tensión de tracción transferida a la bolsa.

Se recomienda el empleo de alambre de espino de acero galvanizado de 4 púas, ya que aporta adhesividad a la interface entre sacos. (Canadell, 2014)

1.3.1.4. Geometría del domo tipo arco ojival apuntado

Dado que los earthbags no tienen mortero entre filas para atarlos juntos, no pueden ser colocados en ángulo sin el uso de una forma, lo que aumentará considerablemente el coste de la estructura. Sin embargo, esto no es un problema en el caso de las bóvedas en voladizo o tipo arco ojival ya que las hiladas están acostadas e inmersas hacia el interior en cada fila hasta que la cúpula se cierre. Esta forma característica de construcción resultará en una cúpula más pronunciada con una forma de arco en punta (Rodríguez, 2017).



Fuente: Rodríguez J. (2017) “las estrategias de simulación numérica para las paredes y arcos superadobe”. [imagen]

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 (Canadell, 2014).

Figura 4 cúpula regular (izquierda), cúpula en voladizo (derecha)

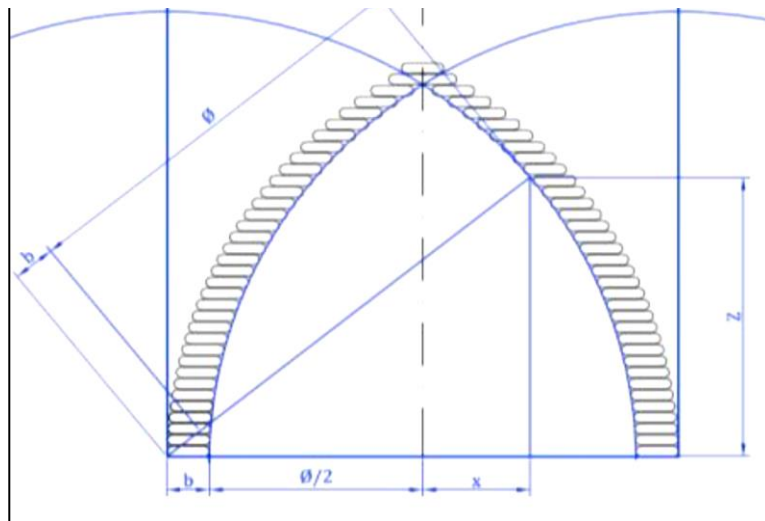


Figura 5 Arco ojival apuntado

Fuente: Canadell, S. (2014). “Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe”.
[imagen]

En una vista de sección transversal el eco-domo se puede dividir en tres partes: cúpula, cilindro y cimientos. Los cimientos es la parte de la estructura que se encuentran por debajo del nivel del suelo. Habitualmente se disponen 2 o 3 hiladas con la finalidad de repartir los esfuerzos a un terreno más rígido. La hilada inferior se encuentra en contacto directo con una capa de grava, y ésta con el terreno. (Canadell, 2014)

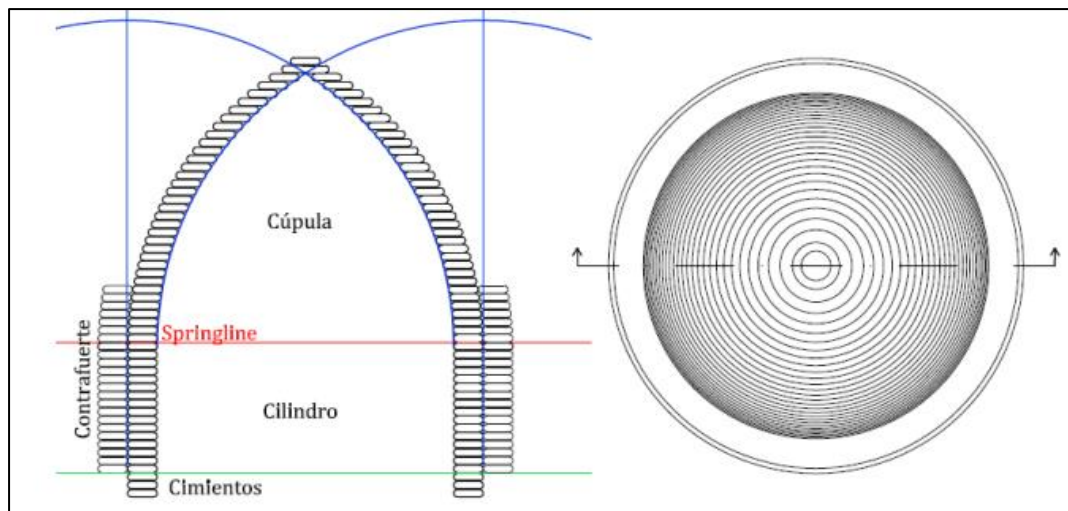


Figura 6 detalle de la geometría de la sección transversal del eco-domo

Fuente: Canadell, S. (2014). “Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe”. [imagen]

Se puede definir que la estructura del eco-domo se levanta en forma cilíndrica por encima de los cimientos, de esta manera se gana altura útil. Posterior a esta zona las siguientes hiladas del eco-domo, se construye en forma de cúpula, la cual se va cerrando y no permite utilizar el espacio correspondiente proyectado en planta. El plano en el que empieza la cúpula se denomina springline o línea de resorte. Desde la zona en cilindro y hasta una altura de 45cm por encima de la línea de resorte se deben construir unos contrafuertes. Los contrafuertes son hiladas que acompañan perimetralmente a los muros y ayudan a resistir la componente horizontal de la reacción de la cúpula.

Canadell (2014) aclara que:

Una hilada es el conjunto de sacos que se hallan en una misma altura. Es posible que una hilada ésta formada por un solo saco continuo, o varios, debida a la presencia de aberturas en la estructura. Cada hilada tiene una

altura específica, no se construye en espiral, sino en anillos uno encima del otro. (pág. 25)

1.3.1.5.Reglas fundamentales para el diseño del domo

Khalili (2011) dictó un total de 7 reglas sencillas para que cualquiera pueda construirse una casa resistente y adecuada tanto como para refugio de emergencia o como para primera vivienda. Estas recomendaciones son fruto de casos experimentales y obedecen a ensayos empíricos.

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

Khalili (2011) asegura que el cumplimiento de las reglas de diseño permite estructuras seguras frente a sismos de hasta 7,2 grados Richter, ignifugas, anti-inundación y huracán, anti-balas, aislantes térmicas, aislantes acústicas y electromagnéticas y anti-carcoma

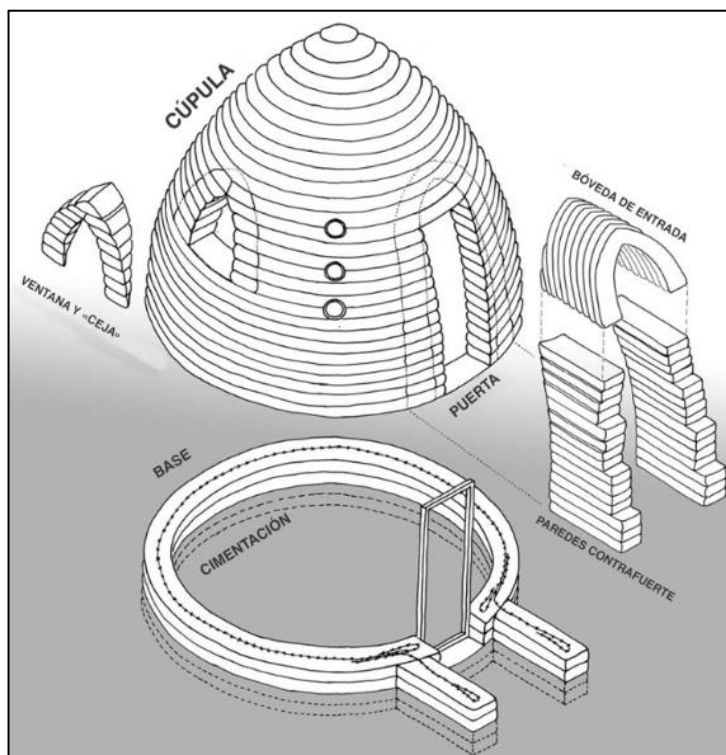


Figura 7 Partes que conforman un Eco-domo de Earth-bag

Fuente: Khalili, (2011) Refugio de emergencia con sacos de tierra y eco-aldea: cómo construir el tuyo propio con superadobe [imagen] recuperado de <https://www.amazon.com/Refugio-Emergencia-Sacos-Tierra-eco-aldea-ebook/dp/B00YB0VVG2>

1.3.1.6. Construcción de domo tipo arco ojival apuntado

Según Rodríguez (2017) en su tesis “Estrategias de simulación numérica para las paredes y arcos de superadobe” comenta los siguientes pasos para la construcción de Eco-domos:

Antes de iniciar la construcción, es importante hacer una evaluación del sitio y el suelo con el fin de analizar si el lugar es adecuado para la construcción con Earth-bags y proponer la mejor solución posible para las características del lugar. Esto es especialmente crítico para decidir el tipo de cimentación

necesaria para el proyecto y para comprender las propiedades del suelo y evaluar si es válido para ser utilizado en la construcción o si necesita ser estabilizado.

Después de realizar un análisis de suelo para determinar las proporciones adecuadas para el relleno, la construcción comienza por definir la geometría del edificio. Si se trata de un edificio convencional rectangular, la geometría se establecerá mediante líneas de cuerda. Sin embargo, si es el caso de una cúpula, se requiere el uso de dos compases.

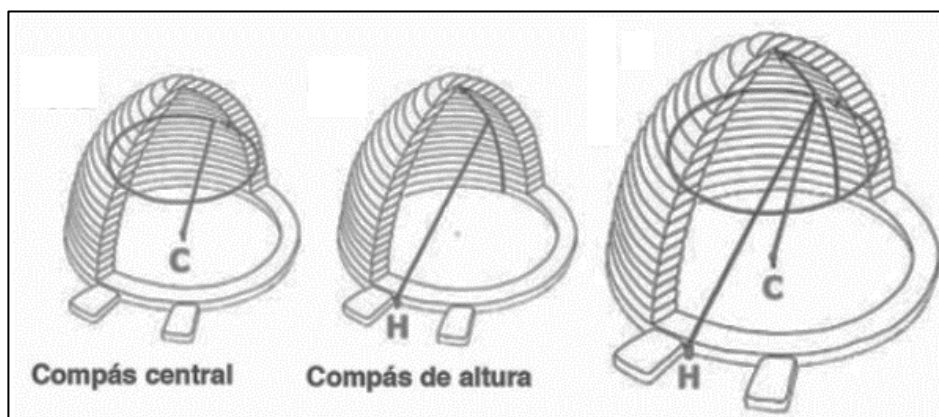
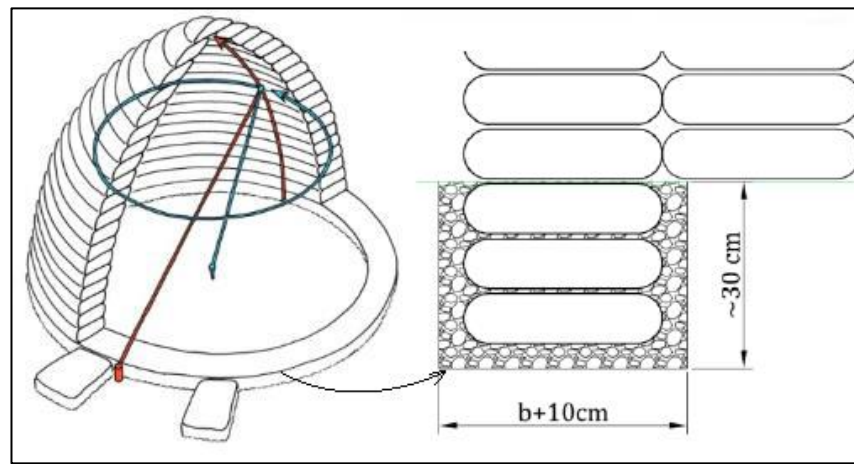


Figura 8 Compas central y de altura para lograr la forma de cúpula del Eco-domo

Fuente: Nader Khalili (2013). "refugio de emergencia con sacos de tierra". [imagen]

Una vez definida la geometría, podemos proceder a excavar la zanja para la fundación. La profundidad de la zanja depende del nivel de las heladas y las condiciones del suelo, pero normalmente será de al menos 30 cm, y 15 cm más ancho que la anchura de las bolsas que se van a utilizar para la construcción. La zanja se llena con una primera capa de 5 cm de grava, y posteriormente, se colocarán los primeros cursos de Earth-bags. Estas primeras bolsas, hasta que al menos 30 cm por encima del nivel del suelo,

deben rellenarse con grava o más debe ser estabilizado, para actuar como el aislamiento del edificio y evitan la ascensión de agua por capilaridad. Además de esto, normalmente se coloca una barrera contra la humedad hasta la parte superior de la pared del vástago. En el caso de la construcción en un área sísmica, Nader Khalili propuso una solución para aislar el edificio colocando una capa de arena entre el lecho de roca en la base del edificio,



permitiendo que se mueva durante los terremotos.

La construcción continúa colocando el primer curso de llenado de la mezcla de suelo que se determinan previamente. Si se construye con bolsas individuales, especial atención tiene que ser hecho a la conexión lateral entre una bolsa y la siguiente, por lo que es tan regular y vertical como sea posible para crear una buena superficie de contacto. Otra diferencia entre el uso de

Figura 9 Profundidad de zanjas de base del Eco-domo

Fuente: Canadell, S. (2014). "Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe". [imagen]

bolsas individuales o tubos es su forma de construcción, tubos deben llenarse en su lugar, que será más rápido de construir, pero necesitan la aportación de

al menos dos personas, mientras que las bolsas individuales son en primer lugar, llenan y cierran y después se ponen en marcha.

Después de terminar un curso, el siguiente paso consiste en apisonamiento con el fin de compactarlo. Esto creará una superficie plana donde se colocará la siguiente fila. Antes de continuar con el próximo curso, es importante para controlar la altura y el diámetro de la fila para comprobar si alguna irregularidad debe corregirse en la siguiente fila.

Por otra parte, con el fin de unirse fuertemente juntos los dos cursos, dos hebras de alambre de púas se colocan entre los planos de las hiladas.



Figura 10 Compactación de la tierra con un pisón hasta tener una superficie plana y regular

Fuente: Barnet & Jabrane, "Eco-domo, un hábitat para reducir la vulnerabilidad frente al friaje en el Perú" (2015) [imagen]

Como se ha explicado antes, estos tipos de construcciones necesitan contrafuertes para soportar los esfuerzos horizontales en la base de la cúpula. Estos elementos llegarán al menos medio metro más alto que la línea de primavera, y habrá conectado a las paredes gracias al alambre de púas. La construcción continúa de la misma manera, la colocación de los encofrados

provisionales para puertas y ventanas en su posición correcta y dando un paso hacia el interior de cada fila hasta que la cúpula está cerrada. Si el edificio tiene una geometría rectangular, el techo será construido de una manera tradicional, normalmente utilizando la madera. Por último, para completar el edificio, ya que los Earth-bags son vulnerables cuando se expone a la luz solar, que deben ser cubiertos con una capa de render. Esto podría ser un yeso de tierra o puede ser estabilizado para que el edificio más duradera y resistente a la humedad.

1.3.1.7. Ventajas y desventajas de construir Eco-domos

Canadell (2014) comenta las ventajas e inconvenientes de los Eco -domos de superadobe en relación a la adecuación de éstas estructuras a la finalidad de resultar seguras, cómodas y funcionales para las personas en su concepción como edificios. Mencionando como principales ventajas la estabilidad estructural, durabilidad, aislamiento termico, seguridad frente al fuego, aislamiento acustico y electromagnetico, ademas de ser economicos.

Por su parte (Rodríguez, 2017) define las principales ventajas como:

Las principales ventajas de esta técnica de construcción son el bajo costo y la construcción rápida junto con la durabilidad de las construcciones resultantes [...] El uso de materiales desde el lugar ayuda a preservar el ecosistema y para integrar mejor el proyecto en el paisaje [...] desventajas a tener en cuenta antes de decidirse a construir con esta técnica de construcción. En primer lugar, las pequeñas dimensiones que se pueden conseguir con esta técnica limitan su aplicación a las casas unifamiliares o pequeños complejos obtenidos mediante la interconexión de varias cúpulas. En segundo lugar, ya que es una técnica

relativamente nueva, todavía no hay mención de las estructuras earthbag en los códigos de construcción actuales. (Pág.30)

De acuerdo con lo comentado por Rodríguez (2017) , Canadell (2014) y según la literatura revisada podemos argumentar que las principales ventajas de esta técnica de construcción son el bajo costo y la construcción rápida junto con la durabilidad de las construcciones resultantes. El objetivo principal por la cual fue concebida esta técnica es de usar los materiales disponibles en el sitio y, a pesar de que esto no es completamente posible, los materiales y accesorios que no se pueden hallar en el sitio de construcción son muy fáciles de encontrar por un precio muy bajo. Además, la técnica no sólo quería ser asequible, sino también para ser duradero y fácil de construir. Para este fin, la tierra, el material ampliamente utilizado en la arquitectura tradicional y que ha demostrado ser muy durable, fue elegido como el material principal. Además, el uso de alambre de púas proporciona la construcción de resistencia a la tracción, que se considera que es cero para edificios de tierra, haciéndolos apropiados incluso en zonas sísmicas. Estas características hacen que esta técnica muy adecuada para la construcción de refugios que necesitan ser construido de forma rápida y para estar seguro, así como para las casas en zonas con muy bajos ingresos.

Pese a lo descrito líneas arriba, existen también hay algunas desventajas a tener en cuenta al momento de tomar la decisión de construir con esta técnica de construcción. En primer lugar, se puede mencionar las pequeñas dimensiones que se pueden abarcar utilizando esta técnica limitando su aplicación a las casas unifamiliares o pequeños complejos que se pueden obtener mediante la interconexión de varias cúpulas. En segundo lugar, ya que es una técnica relativamente nueva, la ausencia de mención de las estructuras Earth-bag en los códigos de construcción actuales.

1.3.2. Vanos o aberturas en edificaciones

1.3.2.1. Definición

Según la Real Academia Española (2001) define a vano como: “m. Constr. En una estructura de construcción, distancia libre entre dos soportes y, en un puente, espacio libre entre dos pilas o entre dos estribos consecutivos”

1.3.2.2. Consideraciones para agregar vanos en estructuras eco-domo

Khalili (2011) en sus siete reglas básicas al momento de construir eco-domos a base de Earth-bag recomienda que: “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” (Pág. 18)

1.3.2.3. Dimensiones de vanos en estructuras eco-domo

De las dimensiones de los vanos o aberturas que se generan en los eco-domos producto de las puertas y ventanas. Ciuntad (2011) comenta que:

Las medidas de los vanos dependen de la ventana y puerta que se desee, pero hay que tener en cuenta que las dimensiones han de ser coherentes con el radio del domo. En un domo pequeño no se ha de colocar ventanas y puertas muy grandes porque TODA MODIFICACIÓN en la forma geodésica del domo es una debilidad estructural. Las ventanas ideales son de base 1 metro y de alto 1,5 metros. Las puertas 1,5 de ancho por 1,80 de alto. (Pág. 46)

1.3.3. Distorsiones sísmicas

1.3.3.1. Definición

Es la relación que existe entre los máximos desplazamientos de entre-piso y la altura de entre piso. (Norma E-030, 2019)

1.3.3.2. Método de elementos finitos en estructuras tipo domo

El método de elementos finitos, también conocido como análisis de elementos finitos, es una técnica computacional que se basa en la mecánica de medios continuos. El comportamiento de las estructuras queda determinado por tres tipos de ecuaciones: las relaciones cinemáticas, constitutivas y el equilibrio. La conexión entre estas relaciones junto con las condiciones de contorno determina en los elementos las tensiones, que equilibran a las cargas, y a su vez las deformaciones o desplazamientos que sufren éstos. En la actualidad existen softwares computacionales de fácil manipulación que nos permiten introducir comportamiento elástico lineal, pero también no lineal o de carácter plástico, siendo posible el cálculo de deformaciones, calculo que por otros métodos nos es imposible calcular (Canadell, 2014).

Este método de elementos finitos, ofrece una gran variedad de posibilidades para la descripción de estas estructuras, incluyendo su comportamiento no lineal. Existe dos enfoques principales para modelar las estructuras de mampostería con elementos finitos: enfoque continuo o macro-modelado y el enfoque discontinuo o micro-modelado (Rodríguez, 2017).

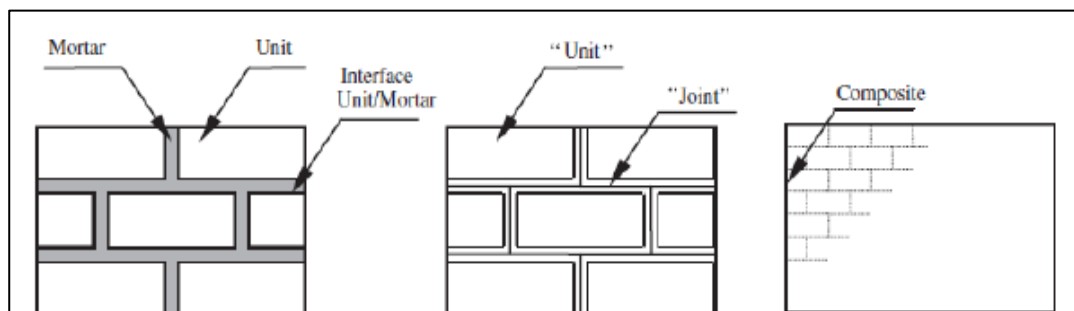


Figura 11 Micro-modelado (izquierda), micro modelado simplificado (medio), macro-modelado (derecha)

1.3.3.2.1. Modelado macro

Rodríguez (2017) define el macro modelado como:

El modelado macro no hace distinción entre unidades y uniones; El material se modela como un continuo homogéneo con propiedades orto-trópicas o isotrópicas. Pueden estar relacionadas con la plasticidad o el daño a las leyes constitutivas; sin embargo, los materiales isotrópicos se han preferido normalmente debido a su simplicidad y la necesidad de pocos parámetros de material. Los parámetros continuos pueden obtenerse a partir de pruebas experimentales en paneles suficientemente grandes, o bien pueden calcularse utilizando una técnica de homogeneización numérica a partir de las propiedades conocidas de los componentes individuales. Esta simplificación crea un modelo más aproximado, sin embargo, también tiene avances prácticos significativos. Las mallas son más fáciles de definir, ya que no necesitan describir la estructura interna y la demanda de cálculo se reduce. La limitación más importante de este enfoque es la incapacidad de simular discontinuidades, tanto entre bloques como entre diferentes partes de la estructura. Esto significa que ciertos fenómenos que pueden experimentar las juntas del material, como el deslizamiento, la separación o la rotación de los bloques, pueden apenas ser modelado por medio de un modelo continuo.

(Pág. 48)

1.3.3.2.2. Modelado micro

El modelado micro es una posible solución para superar estas dificultades del macro modelo, es combinar bloques grandes con elementos de interfaz introducidos en la malla FEM, lo que permitirá el deslizamiento a lo largo de los bloques.

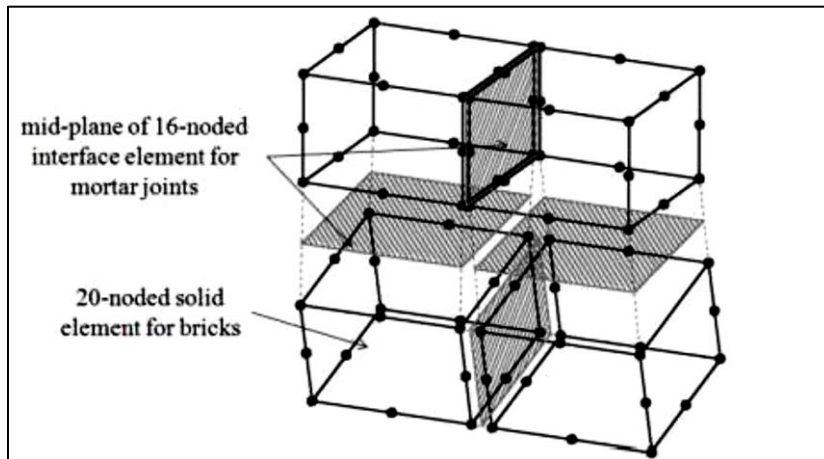


Figura 12 Elementos de meso-escala (Macorini e Izzuddin 2010)

Fuente: Rodríguez J. (2017) “las estrategias de simulación numérica para las paredes y arcos superadobe”. [imagen]

Lo expuesto por Rodríguez (2017) citando lo definido por Lourenço (1996) define el micro modelado como:

Consiste en modelar claramente los diferentes componentes de la estructura: unidades, mortero y la interfaz entre la unidad y el mortero. Cada parte se define con elementos continuos y propiedades de materiales distintas asignadas a cada uno de ellos. Un micro-modelo puede incluir todos los mecanismos de fallo de albañilería, tales como el agrietamiento en las articulaciones, deslizándose sobre una articulación cabeza o cama, agrietamiento las unidades y trituración de mampostería. Este tipo de modelo altamente refinado representa con mayor precisión el comportamiento real de albañilería, sin embargo, el intenso esfuerzo computacional que requiere limita su aplicación a pequeños elementos o detalles estructurales. (Pág. 48)

1.3.3.3. Modelos para el análisis

Los modelos que se optaran para el análisis de estructuras deberá considerar una distribución espacial de masas y rigideces que sean adecuadas para calcular los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura. Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. Para los pisos que no constituyan diafragmas rígidos, los elementos resistentes serán diseñados para las fuerzas horizontales que directamente les corresponde (Norma E-030, 2019).

1.3.3.4. Análisis modal dinámico espectral

El análisis modal espectral o método de la respuesta espectral es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural. Para poder realizar el análisis modal espectral de una estructura aislada es necesaria la generación de un espectro de pseudo aceleraciones. El método modal espectral de análisis sísmico resulta ser una aproximación que permite el cálculo de los esfuerzos y desplazamientos máximos inducidos por el sismo, es aplicable para el diseño de estructuras civiles en una gran cantidad de casos prácticos de la ingeniería, y que está incorporado en los códigos o reglamentos de diseño de obras civiles bajo acciones sísmicas. Las principales limitaciones del método están relacionadas con la forma en que las estructuras desarrollan comportamiento inelástico o plástico durante la acción sísmica. Los reglamentos establecen condiciones que deben cumplir el diseño de la estructura para que el método modal espectral tenga suficiente precisión y resulte aplicable para la verificación del diseño (Prato, Ceballos & Pinto, 2015)

1.4. Formulación del problema

¿Cómo influye el número de vanos en las distorsiones sísmicas de una vivienda modelo Eco-domo arco ojival apuntado?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia del número de vanos en las distorsiones sísmicas de una vivienda modelo Eco-domo arco ojival apuntado, en el distrito La Encañada, Cajamarca.

1.5.2. Objetivos específicos

OE1: Caracterizar una vivienda modelo Eco-domo de arco ojival apuntado adicionando vanos en su superficie.

OE2: Modelar en un software computacional la estructura de una vivienda modelo Eco-domo de arco ojival apuntado considerando los vanos presentes.

OE3: Realizar el análisis estructural sísmico dinámico modal espectral de las viviendas, modelo Eco-domo de arco ojival apuntado, modeladas.

OE4: Analizar las distorsiones que se producen en las estructuras de las casas modelos Eco-domo de arco ojival apuntado.

1.6. Hipótesis

El número de vanos influye significativamente en las distorsiones sísmicas en viviendas modelo eco-domo de arco ojival apuntado, en el distrito La Encañada, Cajamarca 2019

CAPITULO II. METODOLOGIA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Por el propósito:

La presente investigación según el propósito es de tipo aplicada, porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos de la investigación básica para contrastar la investigación a realizarse.

2.1.2. Según el Diseño:

La presente investigación según el diseño es de tipo experimental ya que manipularemos la variable independiente, analizando la influencia que genera en la variable dependiente.

2.1.3. Diseño de investigación

Según el diseño de investigación experimental de tipo cuasi experimental pues los sujetos o grupos de sujetos de estudio, no están asignados aleatoriamente, además, cumplen con los supuestos lógicos de repeticiones y control local. Se cuenta con el diseño de pos-prueba única y grupo control.

Tabla 2:
Diseño de investigación, pos-prueba única y grupo control

Grupo	Tratamiento	Post prueba
GE: Vivienda modelo Eco-domo de arco ojival apuntado	X: Adición de vanos	O1: Distorsiones sísmicas
GC: Vivienda modelo Eco-domo de arco ojival apuntado	Sin vanos	O2:Distorsiones Sísmicas

Fuente: Elaboración propia

GE: Grupo experimental, recibe modificaciones X

GC: Grupo control, no recibe modificaciones

X: Modificación, tratamiento, estímulo, reactivo experimental

O: Medición que se realiza a través de pruebas, cuestionario, observaciones, etc.

2.2. Variables

Tabla 3:

Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UND.	herramienta	Instrumento
V. Independiente: Número de Vanos	m. Constr. En una estructura de construcción, distancia libre entre dos soportes y, en un puente, espacio libre entre dos pilas o entre dos estribos consecutivos. (Real Academia Española, 2001)	Los vanos en una estructura se pueden medir en su ancho, alto y alfeizar que tengan en el muro en el que se encuentran, también se pueden medir como el área de vacío que ocupan en un muro	Diseño Geométrico	Número de vanos Altura del vano Ancho del vano Hiladas que corta el vano	Und. m m Und.	Software AutoCAD 2018 Versión Estudiantil	Hoja de ficha de datos
V. Dependiente: Distorsiones sísmicas	Es la relación que existe del desplazamiento de entre-piso (generado a partir del análisis sísmico de la estructura) entre la altura de entrepiso. (Norma E-030, 2019)	Las distorsiones sísmicas se miden en base a sus desplazamientos máximos divididos entre la altura en la que se generan	Distorsiones Sísmicas	Distorsiones Relativas en "X" Distorsiones Relativas en "Y"	Adimensional	Software Etabs V.16	Hoja de ficha de datos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4:
Identificación de las variables

Variables	Clasificación				
	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Número de Vanos	Independiente	Cuantitativa Continua.	Razón	Unidimensional	Directa
Distorsiones Sísmicas	Dependiente	Cuantitativa Continua.	Razón	Unidimensional	Directa

Fuente: Elaboración propia

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La investigación es una innovación ya que no existe precedente alguno de haberse usado viviendas tipo Eco-domo arco ojival apuntado en nuestra región. Es por eso que no contamos con una población de estudio en específico. Sin embargo, para efectos de análisis sísmico los eco-domos serán contextualizados en el distrito de La Encañada Cajamarca. Para tener los parámetros sísmicos indicados en el RNE E-030

2.3.2. Muestra

La cantidad de modelaciones está determinada por la técnica de muestreo no probabilístico mediante la evaluación de juicio por experto, el cual tomamos como referencia a las recomendaciones dadas por el fundador de este tipo de estructuras Khalili Nader dadas en su manual “Refugio de emergencia con sacos de tierra y eco-aldea: cómo construir el tuyo propio con superadobe” (2011) donde nos establece los siguientes criterios al momento de generar vanos en la superficie de los Eco-domos:

- Al dividir el domo en 4 cuadrantes, en su vista en planta, cada cuadrante no podrá tener más de una abertura.
- Los vanos tienen que tener una separación mínima entre ellos de un metro medido desde su diámetro interno del muro.

Bajo este criterio, la adición de vanos nos limita a generar como máximo cuatro vanos en la superficie del domo, consecuentemente esta investigación toma por conveniente realizar la modelación y análisis de un eco-domo que contemple en él el máximo número de vanos y adicionalmente una modelación y análisis para cuando en el eco-domo no se consideren vanos, dándonos como resultado de nuestra muestra la modelación y análisis de cinco Eco-domos.

La caracterización de las muestras se detalla en la tabla 11 “características generales de la casa Eco-domo.” y en la tabla 12 “Ubicación y tipo de vanos en las casas Eco-domo de acuerdo al cuadrante en el que se encuentran”

2.3.3. Unidad experimental

Una vivienda modelo eco-domo arco ojival apuntado

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos será mediante la técnica de la observación directa, ya que observaran datos en el software Etabs producto del modelamiento y análisis del eco-domo frente a cargas de sismo y peso propio.

2.4.2. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos para la recolección de datos que emplearemos en la presente investigación será hojas de fichas de datos, ya que ahí recolectaremos los datos de desplazamientos que presentan las casas tipo Eco-domo arco ojival apuntado, los valores lo obtendremos mediante un software computacional Etabs. Se ha estructurado las técnicas, herramienta e instrumento que utilizaremos para la recolección de datos para cada variable en la tabla 5 y tabla 6

Tabla 5:

Técnicas e instrumentos de recolección de datos para la variable independiente

Variables	Recolección de datos			
	Fuente	Técnica	Herramienta	Instrumento
Número de vanos	Vivienda modelo Eco-domo	Observación directa	AutoCAD 2019 Versión Educativa	Software Hoja de ficha de datos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6:

Técnicas e instrumentos de recolección de datos para la variable dependiente

Variables	Recolección de datos			
	Fuente	Técnica	Herramienta	Instrumento
Distorsiones Sísmicas	Modelación y análisis de vivienda Eco-domo	Observación directa	Software Etabs	Software Hoja de fichas de datos

Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos ha sido validado por el Ing. Ricardo Daniel Avalos Alayo, quien reviso que la hoja de ficha de datos cuente con los requisitos necesarios para que los valores que se hallen en su contenido expresen de manera clara y precisa lo que representan, para lo cual se llenó una rúbrica para la evaluación del instrumento y se firmó el documento de validación de datos, la cual se muestra en la figura N° 48 en la sección de anexos.

2.4.4. Análisis de datos

La presente investigación utilizará el método de “**Inferencia estadística**” porque tiene como propósito el inferir o inducir el comportamiento de una población específica, todo ello, como resultado a partir del estudio que se le realizará a un conjunto de muestra. Es decir, la información obtenida por una muestra, nos permite inducir el comportamiento en una población específica con un margen de error medible en términos de probabilidad.

2.4.4.1. Análisis de distribución normal

Para determinar si los datos obtenidos siguen una distribución normal se utilizará la prueba de **Kolmogorov-Smirnov** (por tener una población en la que se tiene más de 30 datos) además se utilizara una significancia del 5%

2.4.4.2. Análisis de varianza

El instrumento utilizado para el análisis de datos de los diseños experimentales, es el método de análisis de varianzas mediante la prueba de **ANOVA** para el caso de que los datos sigan una distribución normal y mediante la prueba de **ANOVA de una vía de**

Kruskal Wallis, para el caso de que los datos no sigan una distribución normal. En ambos casos con una significancia del 5%.

2.4.4.3. Definición de hipótesis nula y alternativa

Para la hipótesis nula, nos indicaría que las medias de todos los grupos son iguales, independientemente del número vanos que se le agrega al eco-domo. Entonces en esta investigación la hipótesis nula sería:

H₀: La adición de vanos no tiene una influencia significativa en las distorsiones sísmicas de una vivienda modelo Eco-domo arco ojival apuntado

Para la hipótesis alternativa, nos indicaría que no todas las medias de los grupos son iguales o, al menos una de las medias es distinta. Entonces en esta investigación la hipótesis alternativa sería:

H_a: La adición de vanos tiene una influencia significativa en las distorsiones sísmicas de una vivienda modelo Eco-domo arco ojival apuntado.

2.4.4.4. Análisis Pos prueba

De ser verdadera nuestra hipótesis alternativa determinaremos en qué casos existe influencia significativa mediante procedimientos pos hoc, utilizando la prueba de **Prueba U de Mann-Whitney**, la cual analizará cada caso por pares y nos dará como resultado en qué pares existe esta influencia significativa.

Tabla 7:
Pruebas para el Análisis de Datos

Análisis de Distribución Normal	Análisis de Varianza	Análisis Pos Prueba
Prueba Kolmogorov-Smirnov	Prueba ANOVA de una vía de Kruskal Wallis	Prueba U de Mann-Whitney

Fuente: Elaboración propia

2.5. Procedimiento

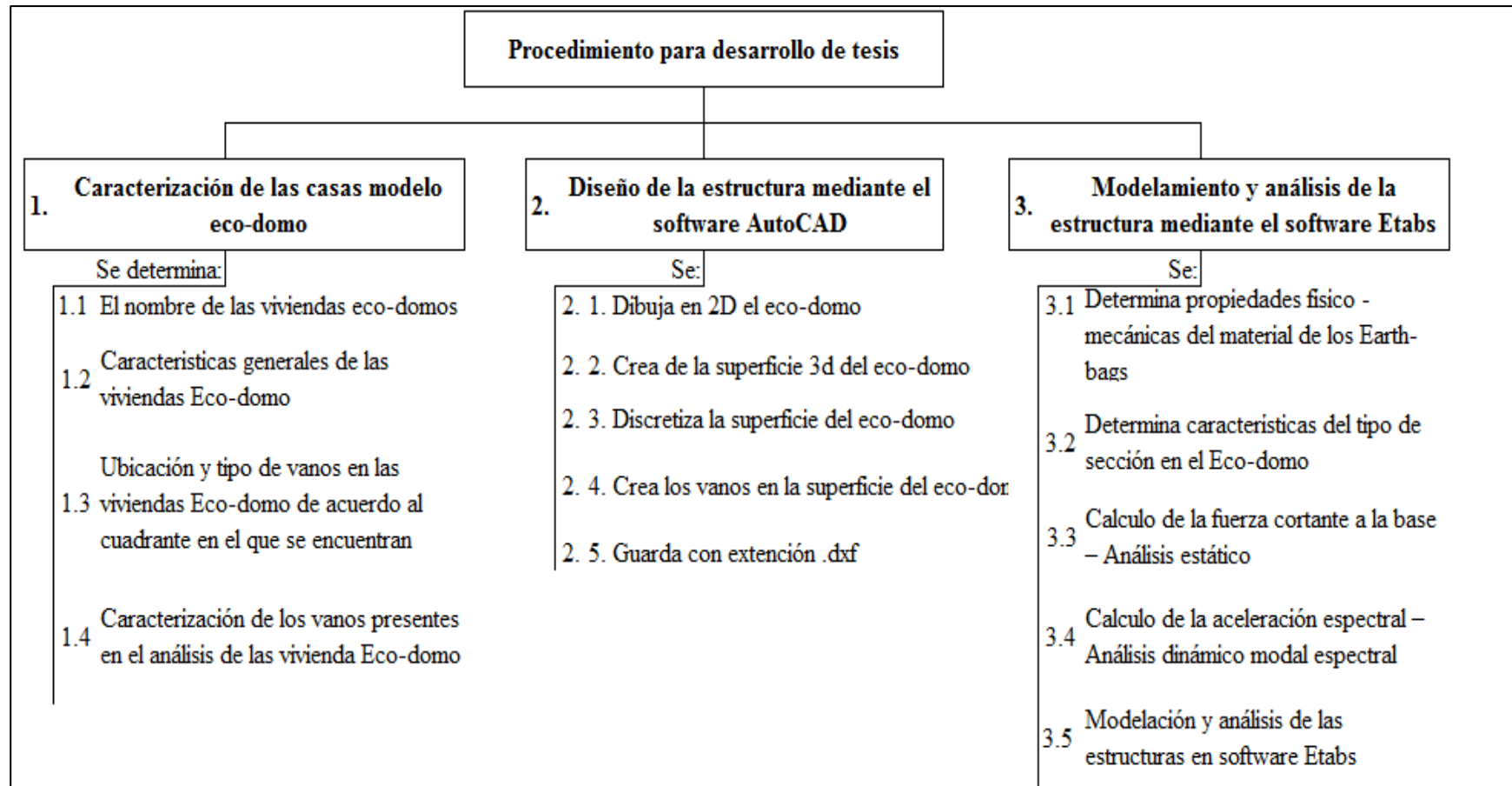


Figura 13 Estructura del procedimiento para el desarrollo de tesis

Fuente: Elaboración propia

2.5.1. Caracterización de casas modelo eco-domo

En la caracterización de las viviendas modelo eco-domo, primero se determina el nombre que recibirá cada eco-domo, asignándolo una numeración. Posteriormente se tiene que definir el ancho de muro que tendrá los eco-domo, así como su diámetro interno y su altura, posterior a ello se determinara cuantos vanos se considerará en cada uno de ellos, así como también, las dimensiones que tendrá y las hiladas que cortara en la superficie del eco-domo.

2.5.2. Diseño de la estructura mediante el software AutoCAD

Para el diseño de la estructura en AutoCAD primero se elabora el diseño geométrico de la sección del eco-domo tipo arco ojival apuntado en el software AutoCAD 2d posterior a este paso, se crea una superficie en revolución en 3D a partir de una sección dibujada del eco-domo, para cumplir con este paso se realiza primero la discretización de la superficie que dará origen a la superficie del eco-domo, se realiza discretización de la superficie en altura y luego una discretización meridional. Para el caso del modelo patrón, en el cual no se consideró vanos, se pasó a guardar en formato Dxf. Para poder ser exportado al programa Etabs. Para el caso de los modelos con vanos se divide el eco-domo en 4 cuadrantes y se realizó la eliminación de superficies discretizadas en el lugar donde irán los vanos, teniendo en consideración que no se podría colocar más de un vano en un cuadrante.

2.5.3. Modelamiento y análisis mediante el software Etabs

Para la modelación de la estructura en Etabs, en primer lugar, se determinó las propiedades físico-mecánicas del material, así como sus propiedades seccionales del eco-domo. También se calculó las fuerzas sísmicas por el análisis estático y los

parámetros sísmicos para la formación de la aceleración espectral que se tendrá para el análisis dinámico. En el programa Etabs se importó el modelo de la superficie 3D creada en AutoCAD, se le asignaron los tipos de materiales del cual estarían constituidos las diferentes partes de los eco-domos, hiladas de contrafuertes que trabajan en compresión teniendo un Módulo de Elasticidad y para las hiladas de arcos que trabajan en tracción otro Módulo de Elasticidad. Además, se asignan restricciones en la base del domo, considerando un apoyo fijo. Por otro lado, se restringe el movimiento en los puntos dejados en el aire por la abertura de vanos, asignándolo solo grados de libertad para traslación en “X” e “Y” y para rotación en “Z”. Para finalizar se pasó a aplicar los parámetros sísmicos y de la estructura y se comenzó a analizar bajo estas condiciones.

2.6. Desarrollo de tesis

2.6.1. Caracterización de las casas modelo eco-domo

- Para la caracterización de los Eco-domos, se asignaron nombres y características generales del domo.

Tabla 8:
Características generales de las casas Eco-domo

Nombre	Vanos	Ancho de Hiladas	Ancho de Contrafuertes	Diámetro Interno	Altura
Eco-domo 0	sin vanos	0.40 m	0.80 m	4.00 m	4.52 m
Eco-domo 1	1 vano	0.40 m	0.80 m	4.00 m	4.52 m
Eco-domo 2	2 vano	0.40 m	0.80 m	4.00 m	4.52 m
Eco-domo 3	3 vano	0.40 m	0.80 m	4.00 m	4.52 m
Eco-domo 4	4 vano	0.40 m	0.80 m	4.00 m	4.52 m

Fuente: Elaboración propia

- Para la ubicación de los vanos en la superficie del eco-domo, este se dividió en cuatro cuadrantes, desde su vista en planta.

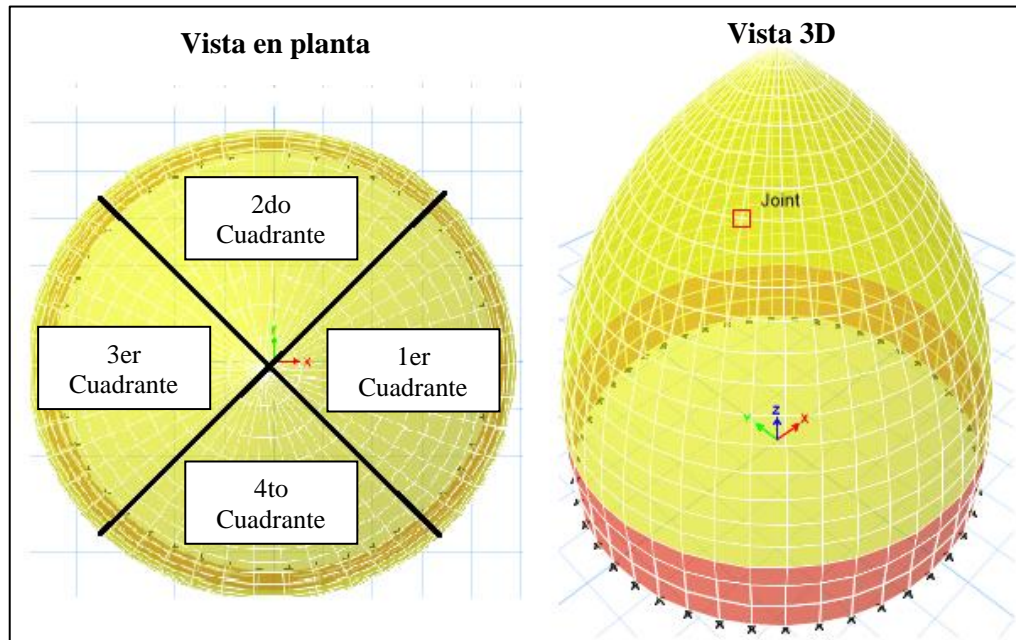


Figura 14: Eco-domo dividido en cuatro cuadrantes

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9:

Ubicación y tipo de vanos en las casas Eco-domo de acuerdo al cuadrante en el que se encuentran

Nombre	1er Cuadrante	2do Cuadrante	3er Cuadrante	4to Cuadrante	Número de Vanos
Eco-domo 0	0 vanos	0 vanos	0 vanos	0 vanos	sin vanos
Eco-domo 1	0 vanos	0 vanos	0 vanos	Puerta	1 vano
Eco-domo 2	0 vanos	0 vanos	Ventana	Puerta	2 vanos
Eco-domo 3	Ventana	0 vanos	Ventana	Puerta	3 vanos
Eco-domo 4	Ventana	Ventana	Ventana	Puerta	4 vanos

Fuente: Elaboración propia

- Los vanos considerados representan a las aberturas de las ventanas y puertas, sus dimensiones y características se determinan teniendo en cuenta la norma técnica A-010 y A-020, además también se tomó como referencia las dimensiones que se tomaron en el eco-domo construido por la Universidad San Martín de Porres en Lima. (Barnet & Jabrane, 2015) y lo recomendado por (Ciudad, 2011) en su manual de súper adobe.

Tabla 10:

Caracterización de los vanos presentes en el análisis de las casas Eco-domo

Tipo de Vano	Alto	Ancho	Alfeizar	Hiladas que corta
Puerta	1.80 m	0.90 m	-	De la primera hilada a la séptima hilada
Ventana	0.50 m	0.50 m	1.35 m	Sexta y séptima hilada

Fuente: Elaboración propia

2.6.2. Diseño de la estructura mediante el software educacional AutoCAD

Se tomó como referencias la investigación de Alcántara (2019) “Diseño y comportamiento estructural de una casa modelo eco-domo” para determinar el procedimiento que se seguirá para el diseño 2D en AutoCAD de las estructuras de eco-domo. Los pasos seguidos para el diseño de la estructura se detallan a continuación:

PASO N°1: Configuración de unidades en AutoCAD y creación de una capa de trabajo.

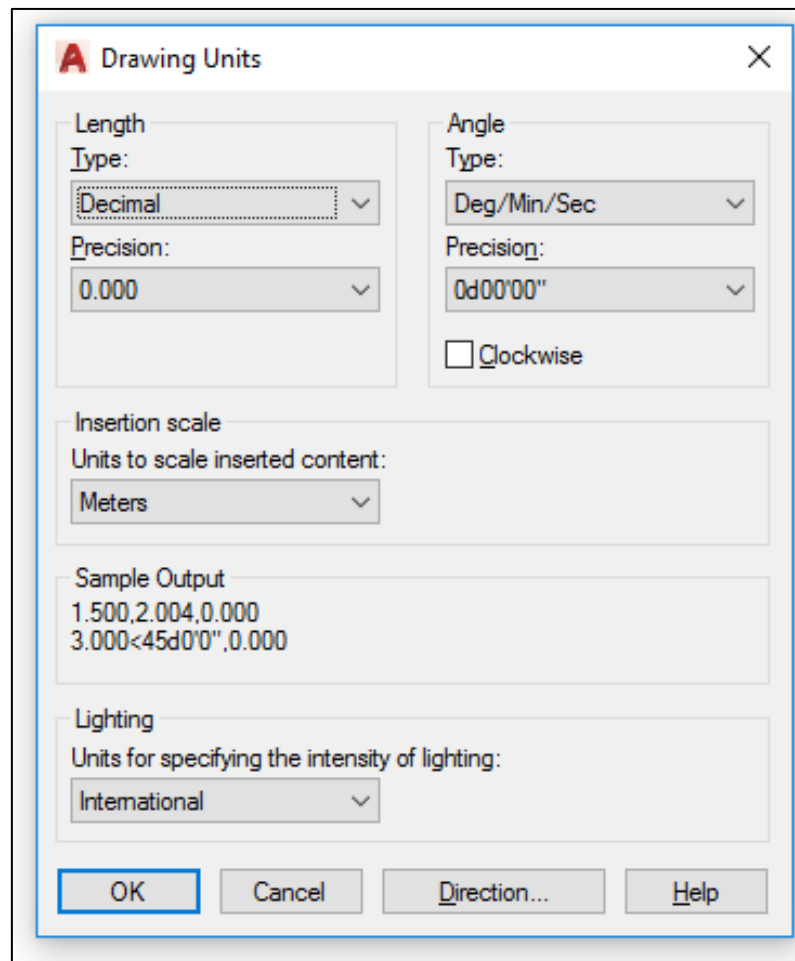


Figura 15: Configuración de unidades.

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°2: Trazo de líneas: que representen el diámetro y en los extremos el ancho de muros

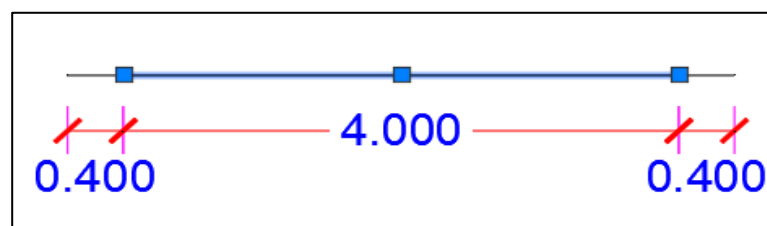


Figura 16: Trazo de líneas que representen el diámetro y ancho de muros

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°3: Trazo de círculos desde los extremos de los anchos de muro hacia los extremos del diámetro interior del domo

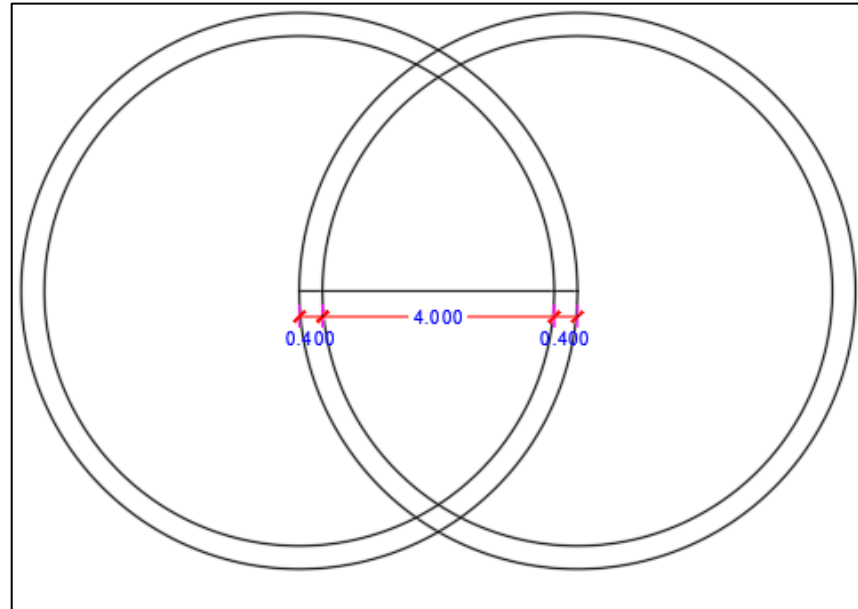


Figura 17: Trazo de círculos desde los extremos de los anchos de muro hacia los extremos del diámetro interior del domo

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°4: Eliminación de líneas innecesarias para obtener la sección del domo en altura

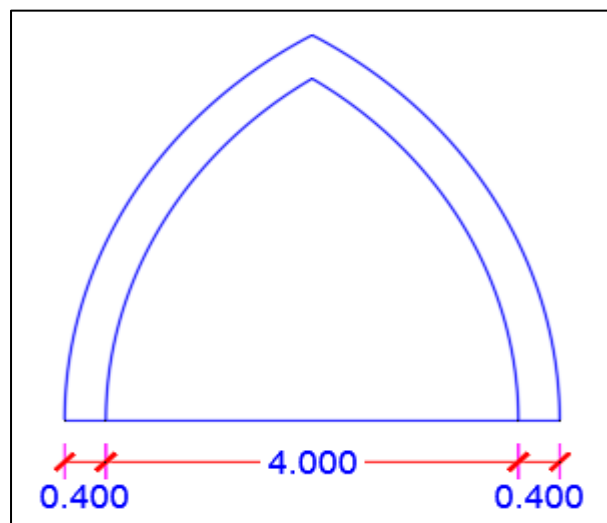


Figura 18: Eliminación de líneas innecesarias para obtener la sección del domo en altura

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°5: Trazo de línea paralela a la cara interna del muro y se traza una línea vertical de 0.60m que a los extremos base servirá para ganar altura en el eco-domo

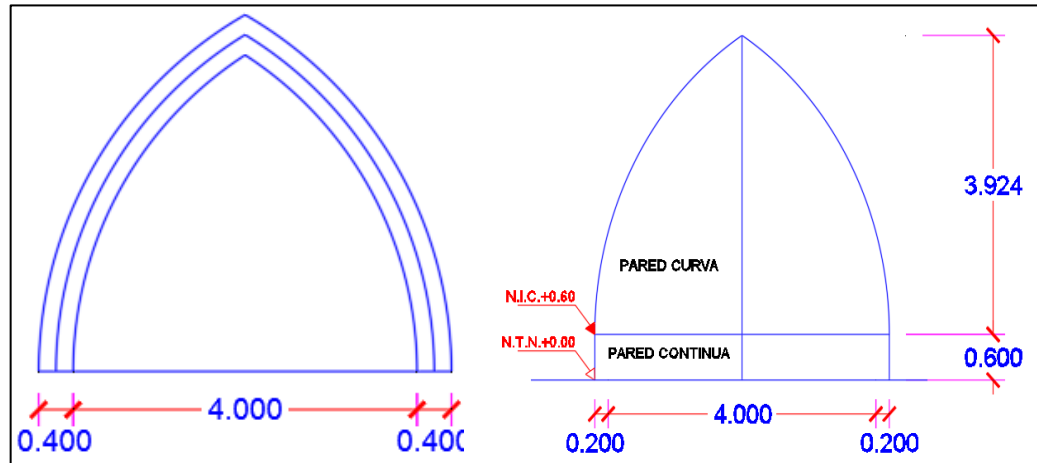


Figura 19: Trazo de línea paralela a la cara interna del muro para hacer el diseño en 3D en AutoCAD y posteriormente exportar a Sap2000

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

Culminado el diseño en 2D del Eco-domo, se copia el diseño a un nuevo archivo de AutoCAD, se configura las unidades y el tipo de vista de modelación 3D. El proceso que se siguió para el diseño en 3D en AutoCAD de las estructuras se detallan mediante los siguientes pasos, tomadas como referencias de la investigación de Alcántara (2019) “Diseño y comportamiento estructural de una casa modelo eco-domo”:

PASO N°1: Copiado el elemento en 2d se realiza la rotación del modelo para que se encuentre en sentido vertical.

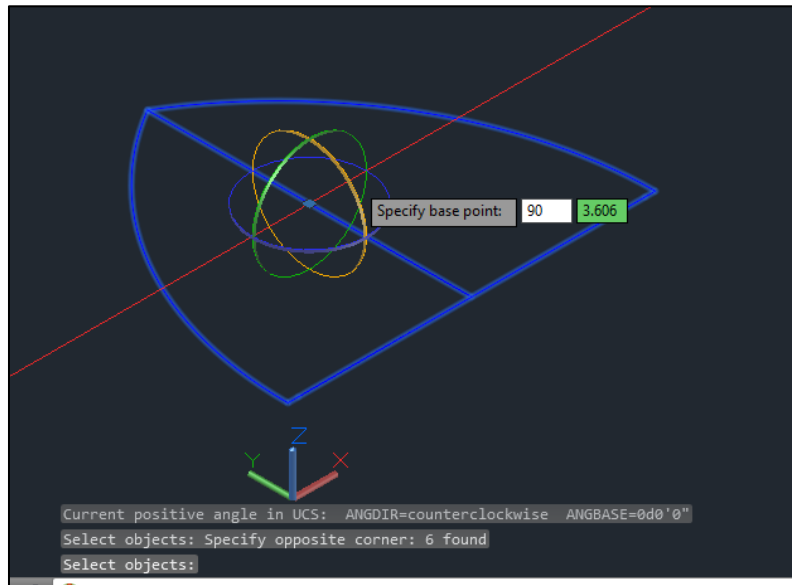


Figura 20: Rotación del modelo para que se encuentre en sentido vertical

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°2: Se borra un lado del domo para poder generar una superficie. Y mediante el comando SURFTAB1 se establece el número de divisiones meridionales, para nuestro caso se discretizó en 46 divisiones

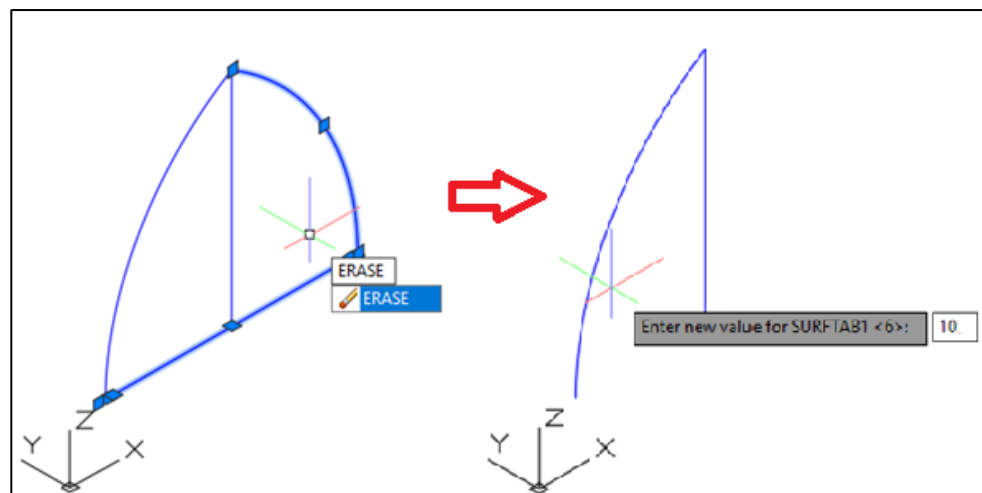


Figura 21: Configuración del número de divisiones meridionales

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°3: Se determina el número de divisiones en altura mediante el comando SURFTAB2, para nuestro caso se realizó una discretización de 21 partes en altura

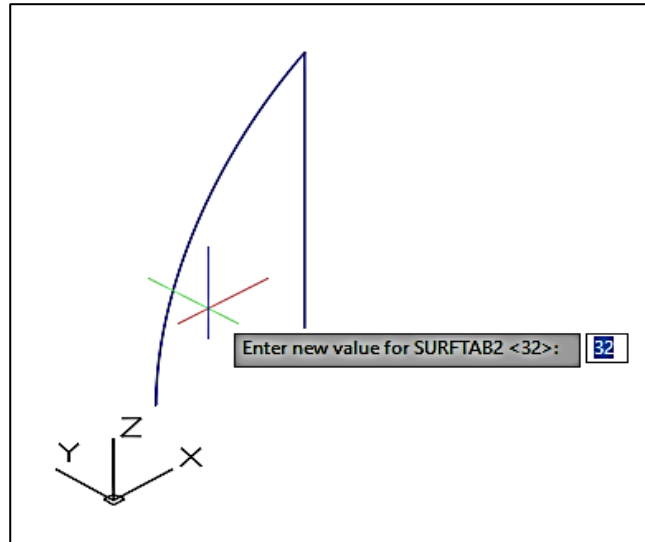


Figura 22: Determinación del número de divisiones en altura mediante el comando SURFTAB2

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°4: Se realiza la creación de superficie mediante el comando Mesh-Modeling, Meshes-revolved Surface

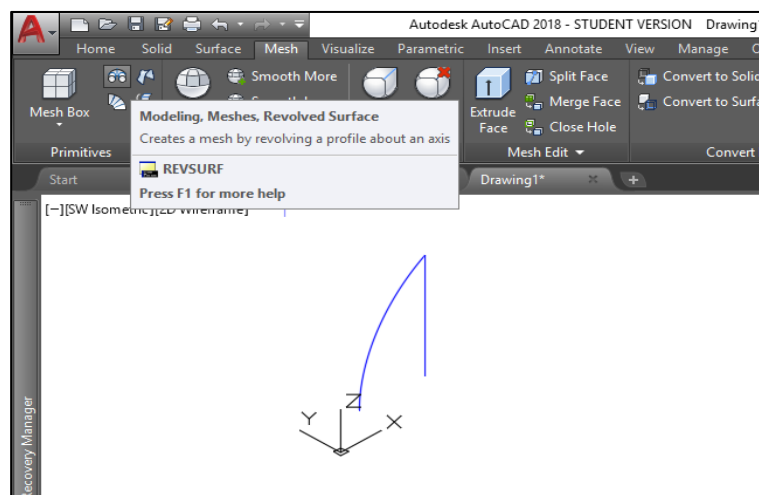


Figura 23: Creación de superficie mediante el comando Mesh-Modeling Meshes-revolved surface

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°5: Se selecciona el objeto de revolución y posteriormente el eje en el que se hará la revolución del objeto

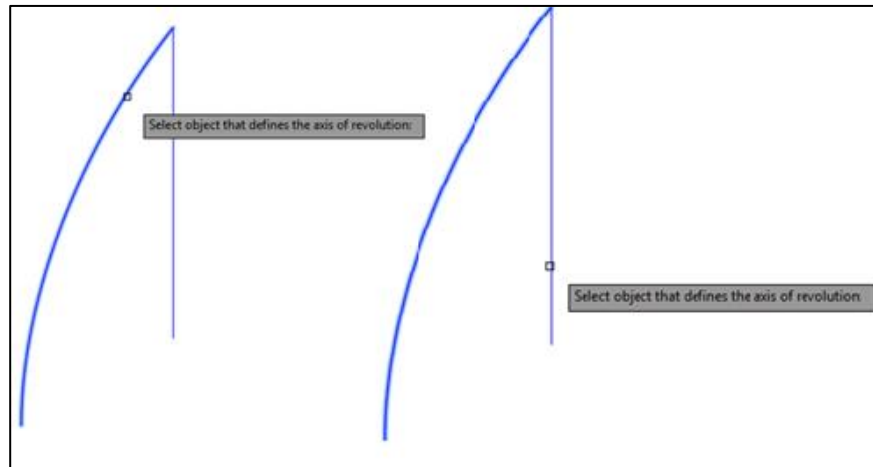


Figura 24: Selección del objeto de revolución y del eje en el que se hará la revolución del objeto

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°6: Se obtiene la superficie revolucionada en 360° (ver figura N°1) y posterior a eso se hace coincidir el origen de coordenadas con el centro de la base del Eco-domo

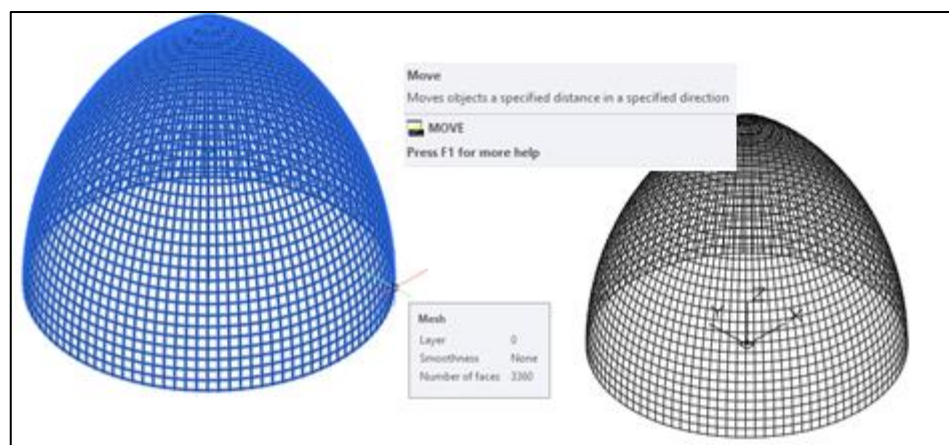


Figura 25: Hacer coincidir el origen de coordenadas con el centro de la base del Eco-domo

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°7: Para culminar la discretización de la superficie del domo se ejecuta el comando EXPLODE para separar las secciones de la superficie del domo

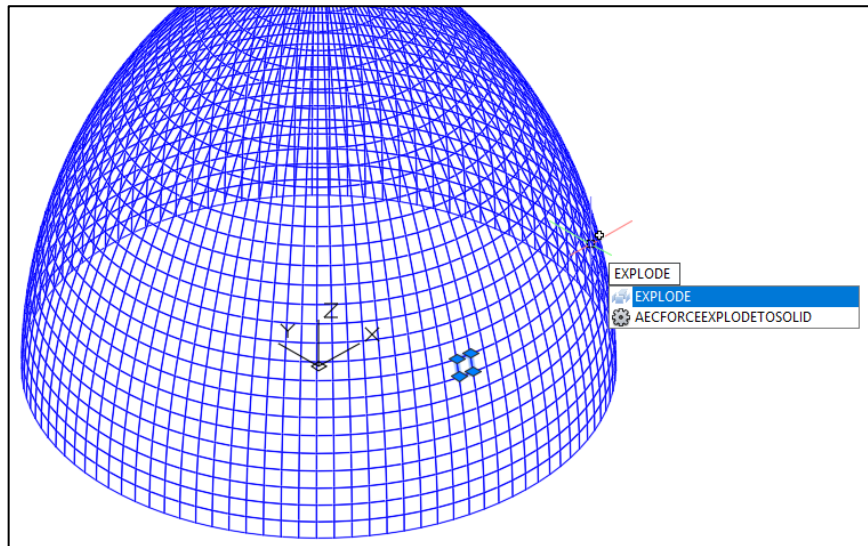


Figura 26: Discretización de las superficies del domo

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°8: Para el modelo del eco-domo sin vanos el archivo se guarda en con la extensión .dxf para poder exportarlo al Etabs

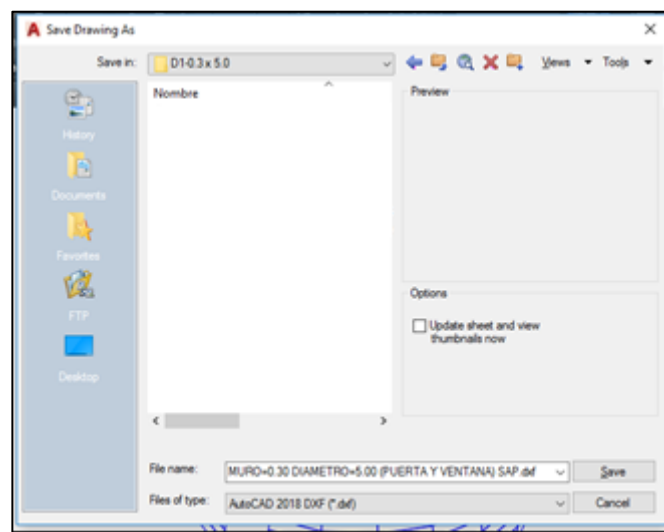


Figura 27: Guardado con la extensión .dxf

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

PASO N°9: Para las modelaciones de los eco-domos adicionando vanos, se crea copias del archivo sin vanos y se edita según el requerimiento. Para los modelos con aberturas de ventanas y/o puertas se elimina superficies para crear las aberturas teniendo en cuenta sus dimensiones de ancho y altura de dichas aberturas

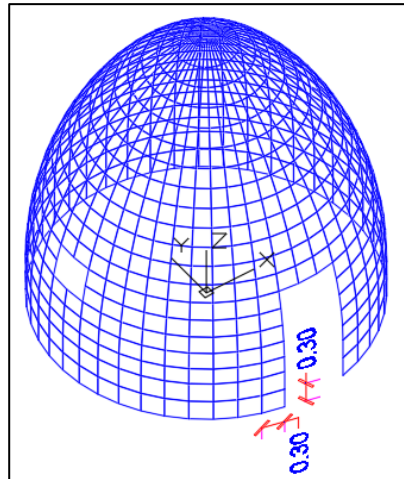


Figura 28: Aberturas de ventanas y/o puertas

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de

PASO N°8: Posterior a la adición de vanos el archivo se guarda en con la extensión .dxf para poder exportarlo al sap2000

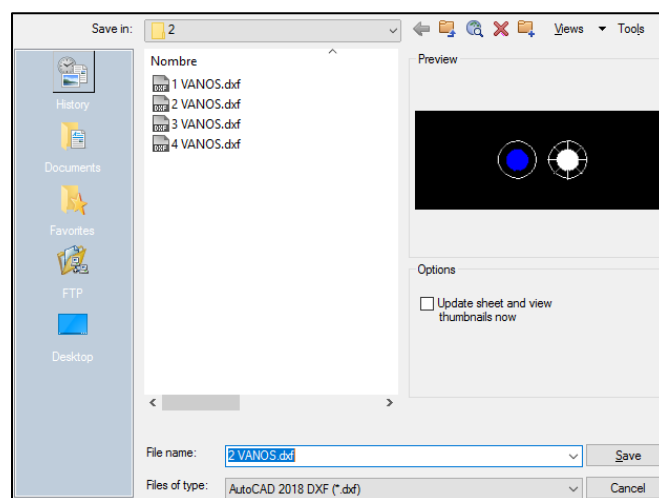


Figura 29: Guardado con la extensión .dxf de modelación con aberturas

Fuente: AutoCAD (V.2018). [captura de pantalla]

2.6.3. Modelamiento y análisis de la estructura mediante el software Etabs

2.6.3.1. Propiedades físico-mecánicas del material Earth-bag y secciones del eco-domo

En la tabla N° 14 nos muestra las propiedades físico – mecánicas que tendrán los Earth-bag, de acuerdo a su tipo de sección en la que se encuentre. Estas propiedades han sido obtenidas de la investigación realizada por Rodríguez (2017), por considerar que los datos obtenidos en su investigación son respaldados por las campañas experimentales desarrollados en la Universidad de Bath con Pelly (2009), Vagdama (2010) y Croft (2011).

*Tabla 11:
Propiedades físico - mecánicas del material de los Earth-bags*

Propiedades Físico - Mecánicas	Earth-bag Tipo Arcos Estabilizados con 5% de Cemento	Earth-bag Tipo Paredes Estabilizadas con 5% de Cemento	Earth-bag Tipo Paredes con Alambre
Peso específico	2.177Tn/m ³	1.756Tn/m ³	1.756Tn/m ³
Resistencia a compresión	152.957Tn/m ²	132.563Tn/m ²	132.563Tn/m ²
Módulo de elasticidad en compresión	5098.58Tn/m ²	1529.57Tn/m ²	1019.72Tn/m ²
Módulo de Young	0.3	0.3	0.3

Fuente: Rodríguez (2017)

Para determinar el tipo de sección que tendrá cada parte del domo, así como las propiedades que esta tendrá, nos basamos en el antecedente de manual de súper adobe dado por Ciuntad (2011) de esta manera se establece que las partes del domo se dividieron en cuatro, siendo estas: contrafuerte de la base, contrafuerte de ventana, contrafuerte de puerta y cobertura del domo. El detalle de esta sección se muestran en la tabla N° 15 y en la figura N°34

Tabla 12:
Características del tipo de sección en el Eco-domo

Partes del eco-domo	Ancho	Tipo de material	Observación
Contrafuerte base	0.80 m	Earth-bag tipo paredes estabilizadas con cemento	Esta sección solo lo tiene las tres primeras hiladas del domo
Contrafuerte ventana	0.80 m	Earth-bag tipo arcos estabilizados con cemento	Esta sección se establece alrededor de la abertura de la ventana
Contrafuerte puerta	0.80 m	Earth-bag tipo arcos estabilizados con cemento	Esta sección se establece alrededor de la abertura de la puerta, pasado la tercera hilada
Cobertura del eco-domo	0.40 m	Earth-bag tipo paredes con alambre	Las demás hiladas que no estén dentro de las consideraciones de contrafuertes serán establecida con esta propiedad

Fuente: Ciuntad (2011)

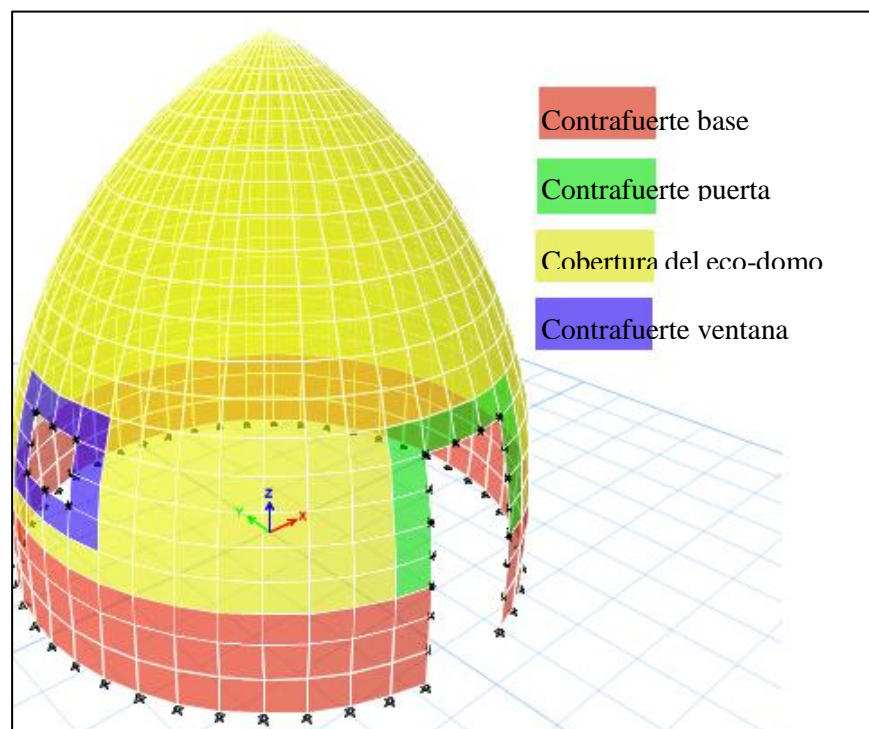


Figura 30: Secciones del Eco-domo

Fuente: Elaboración propia

2.6.3.2. Cálculo de la fuerza cortante a la base – Análisis estático

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas a la base, esta investigación se rigió a la norma vigente de estructuras de adobe E-080 del Reglamento Nacional de Edificaciones. La fuerza cortante a la base se determina en función a lo establecido en el RNE E-080 (2019)

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

Teniendo en cuenta las condiciones del terreno, las características de la estructura y las condiciones de uso, se emplearon los siguientes parámetros sísmicos:

- S: 1.20 Factor de suelo (indicado en la Tabla 1 del RNE E-080), se considera un tipo de suelo intermedio con capacidad portante admisible mayor a 1.00Kg/cm²
- U: 1.00 Factor de uso (indicados en la Tabla 2 del RNE E-080), el eco-domo está destinado para uso de vivienda y/o refugio de emergencia.
- C: 0.20 Coeficiente sísmico (indicado en la Tabla 3 del RNE E-080) el contexto en donde situamos nuestro análisis es el distrito de La encañada, ubicado dentro de la zona sísmica 3

La fuerza cortante a la base queda expresada en función al peso de la edificación (P) de la siguiente manera:

$$H = 0.24 * P$$

2.6.3.3. Cálculo de la aceleración espectral – Análisis dinámico modal espectral

Apoyados de la norma E-030, se realizó para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

Tomando para ello, los siguientes parámetros sísmicos:

- Factor de Zona: $Z = 0.35$ (Zona 3)
- Factor de Uso: $U = 1.00$ (Edificación para vivienda) (Categoría “C”)
- Factor de suelo: $S = 1.15$ (“S2” Suelo Intermedio) factor se toma con las referencias de las investigaciones realizadas por Alcántara (2019) y León (2019)
- Periodo de la plataforma $T_p = 0.6$
- Periodo que define el inicio de la zona del espectro con desplazamiento de constante. $T_l = 2.0$

Nuestra estructura tipo eco-domo, al ser una estructura poco convencional, necesita de un factor de reducción sísmica que trate en lo posible de definir su correspondiente capacidad de resistencia lateral. Para ello nos apoyamos en lo propuesto por la ASCE standard 7.05 Cargas mínimas de diseño para edificios y estructuras atípicas. En su capítulo 15, Requisitos de diseño sísmico para estructuras atípicas (ver anexo 10). Donde nos muestra la tabla correspondiente a los factores de reducción sísmica para estructuras diferentes a edificios convencionales, nuestro eco-domo estaría dentro de las consideraciones de estructuras de mampostería reforzada no similares a las construcciones convencionales, teniendo para ello un factor de reducción sísmica (R) igual a 3. Se tomó en cuenta la irregularidad en altura por irregularidad geométrica vertical teniendo un $I_a = 0.90$. en consecuencia, trabajaríamos con un coeficiente de reducción sísmica de $R = 2.7$. por otro lado, en la obtención de resultados este coeficiente de reducción sísmica se corregirá en caso exista irregularidad por rigidez.

2.6.3.4. Modelación y análisis de las estructuras en software Etabs

Con los datos de las propiedades físico-mecánicas y seccionales del eco-domo definidas, así como las consideraciones sísmicas y parámetros sísmicos que se tendrán al momento de analizar la estructura por fuerzas estáticas equivalentes, y por el análisis dinámico modal espectral, se procede a realizar la modelación de las casas modelo Eco-domo en el software Etabs, para ello se sigue los siguientes pasos:

PASO N°1: Se selecciona un modelo en blanco al iniciar el software Etabs

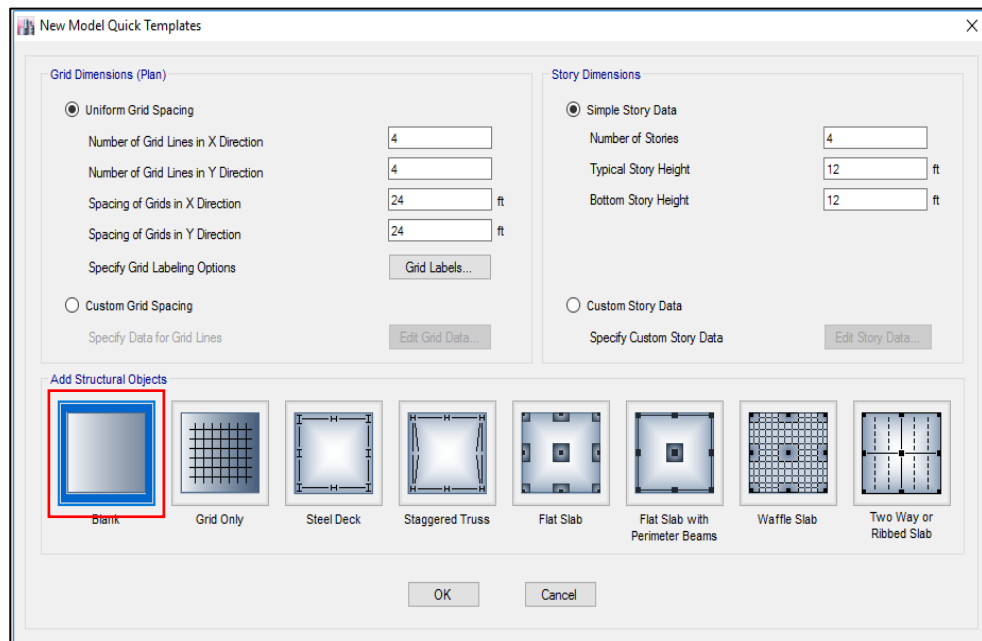


Figura 31: Modelo en blanco al iniciar el software Etabs

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°2: Se realiza la importación del archivo que contiene de la superficie del eco-domo creado en 3D

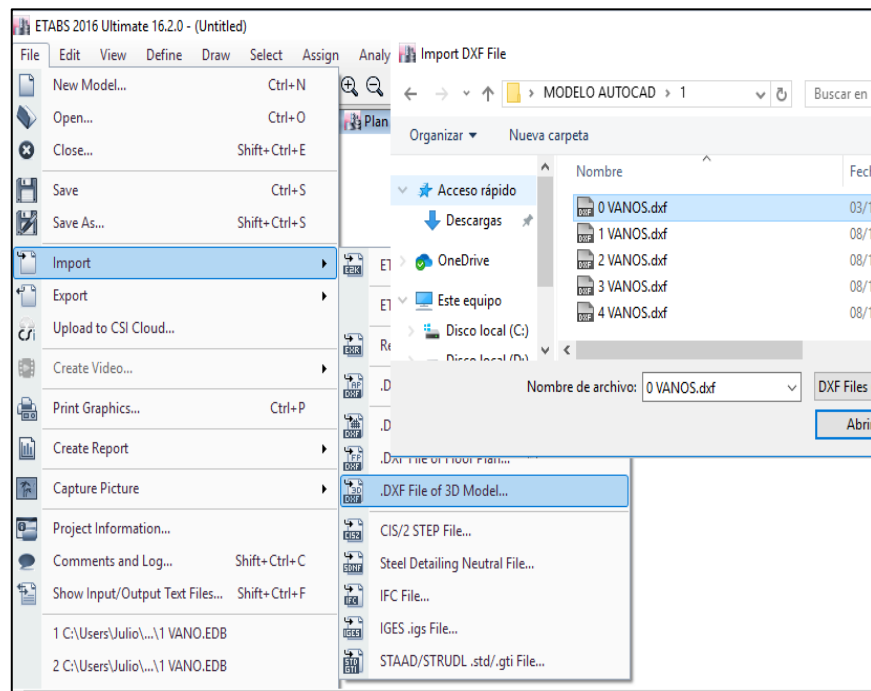


Figura 32: Importación de datos desde el archivo AutoCAD

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°3: Se selecciona el eje “Z” como eje de importación, así como también la capa de líneas donde fue dibujado el eco-domo

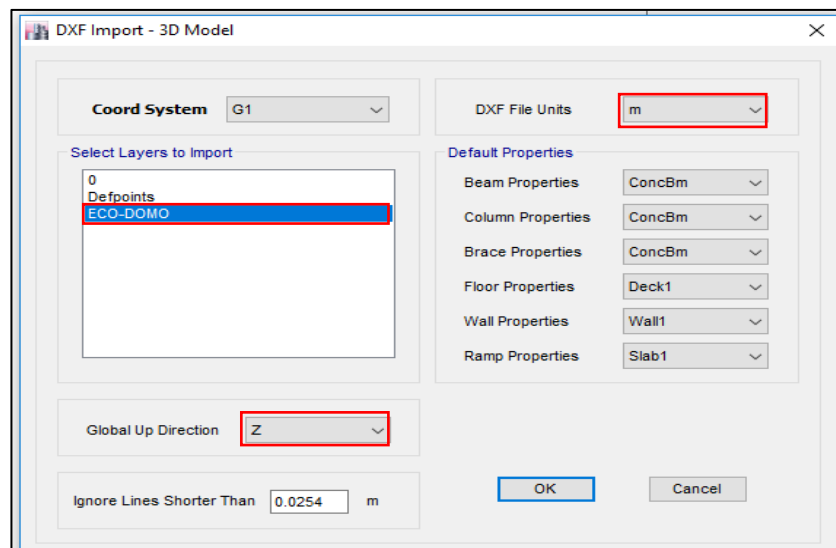


Figura 33: Configuración de datos de importación

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°4: Se define las propiedades del material que tendrá el eco domo,
descritos en la tabla N°14 y N°15

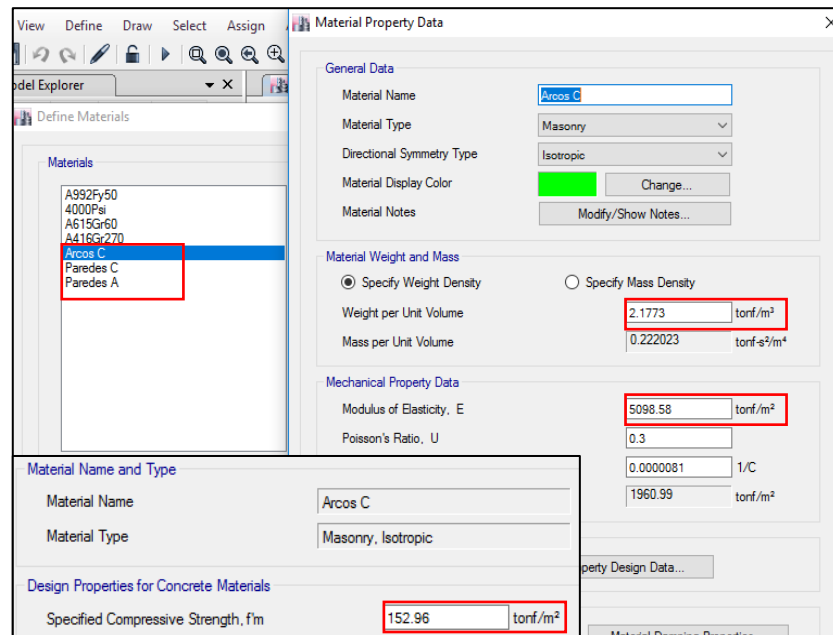


Figura 34 Definición las propiedades del material

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°5: Se crea nuevas secciones de materiales tipo Shell, que
representarán las secciones del domo

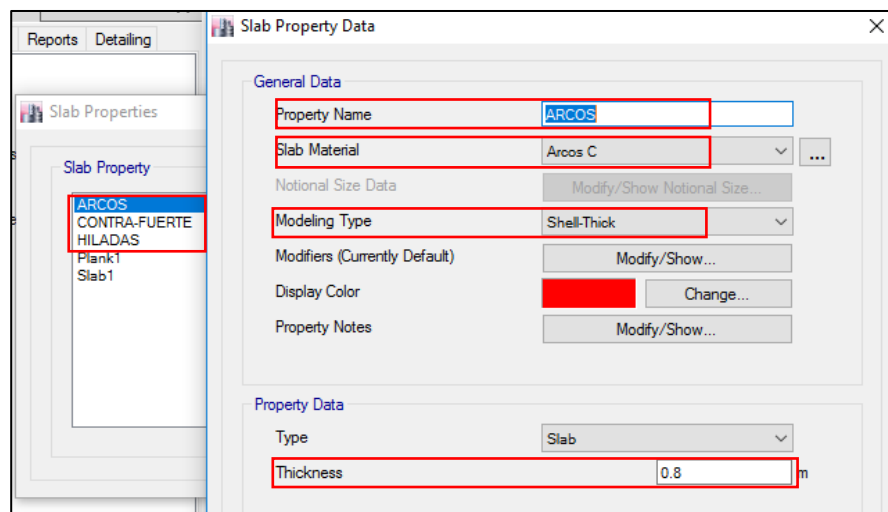


Figura 35: Creación de dos nuevas secciones de materiales tipo Shell -thick

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°6: Se asigna el tipo de sección al domo y se genera sus restricciones, en la base como un apoyo fijo y en los puntos libres, dejados por las aberturas de los vanos, se limita los movimientos solo de desplazamientos en X e Y, además de rotación en Z

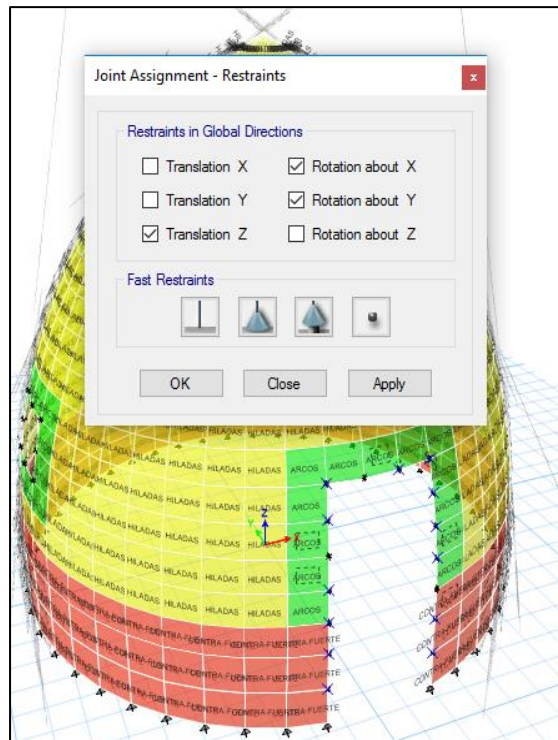


Figura 36: Asignación de tipo de sección al domo

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°7: Para el análisis estático se define la cortante a la base para la dirección en X y dirección en Y, para ello utilizaremos un coeficiente C calculado de acuerdo a sus parámetros sísmicos como, factor de suelo, tipo de edificación y coeficiente sísmico, el cual se determina en base a la zona sísmica en la que se encuentra

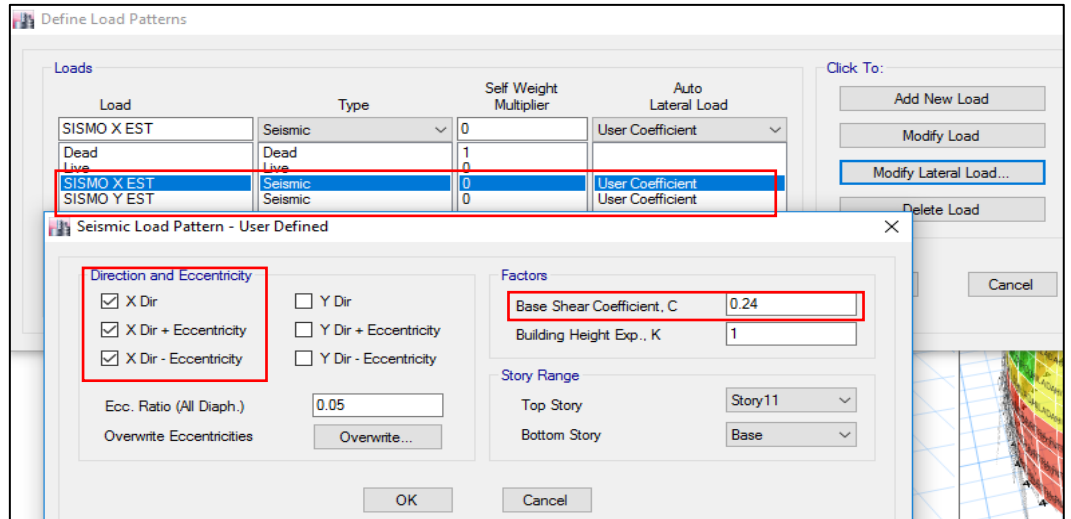


Figura 37: Definición de cortante basal, para el análisis estático

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°8: Para el análisis dinámico modal espectral se genera un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones, que se definirán en base a los parámetros sísmicos definidos en el ítem 2.7.3.3.

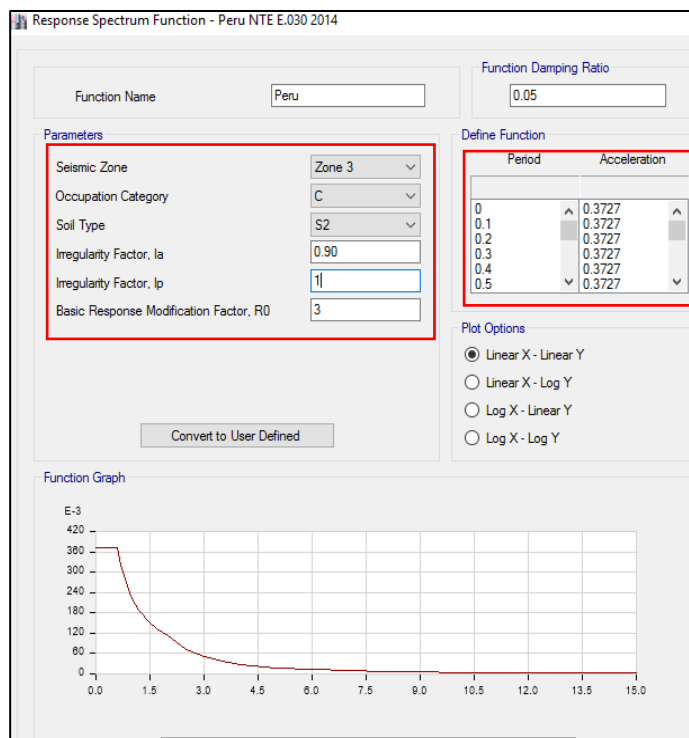


Figura 38: Creación del espectro de aceleraciones

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°9: Se define los casos de cargas para un análisis mediante la utilización de un espectro de pseudo-aceleraciones tanto para la dirección en X como para la dirección en Y

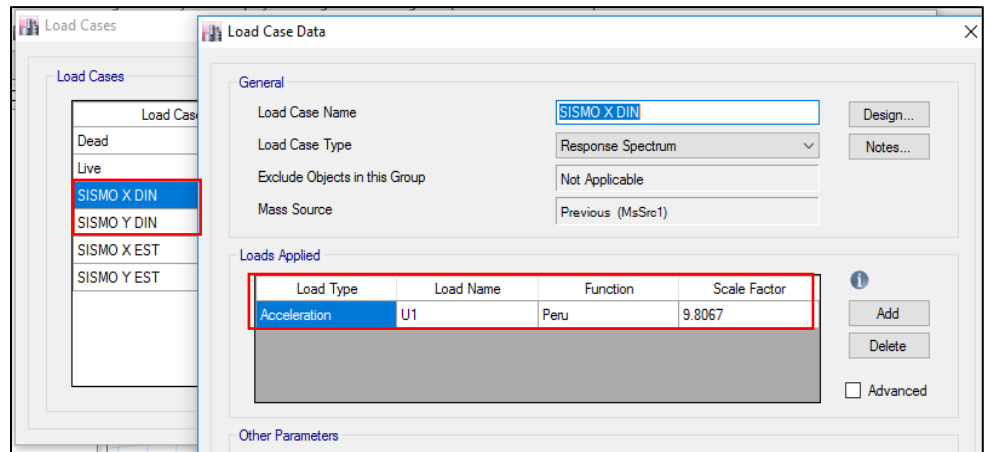


Figura 39: Definición de casos de cargas para el análisis dinámico

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°10: Se define el caso modal, para la cual analizaremos el modo de vibración natural del edificio y generaremos un mínimo tres modos de vibrar y como máximo 12 modos de vibrar

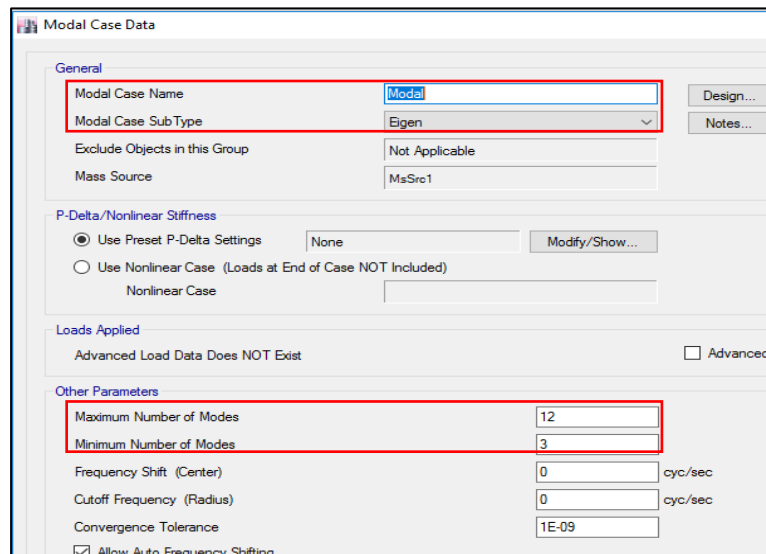


Figura 40: Definición de caso modal

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°11: Para obtener los desplazamientos en nuestra estructura se amplifica según la norma E-030 los desplazamientos por el 100% del factor de reducción sísmica, para estructuras irregulares

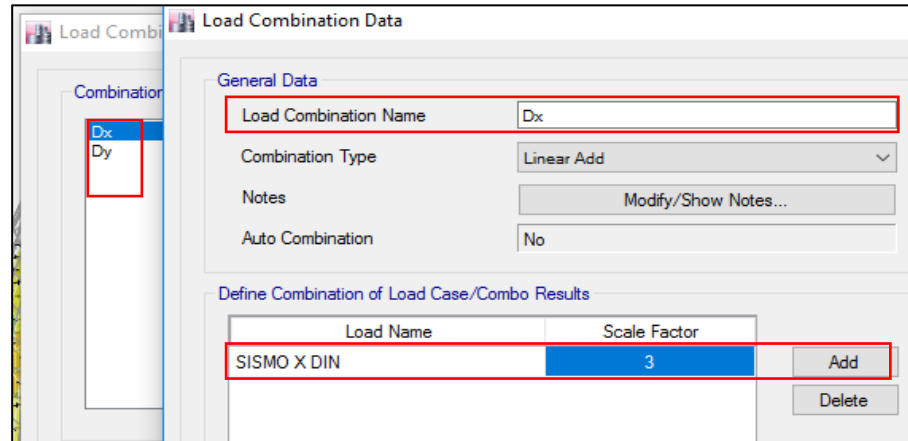


Figura 41: Definición del factor de multiplicación para desplazamientos

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

PASO N°12: Se guarda el archivo en una base de datos y se corre el programa para obtener datos de interés. (ver figura N°50)

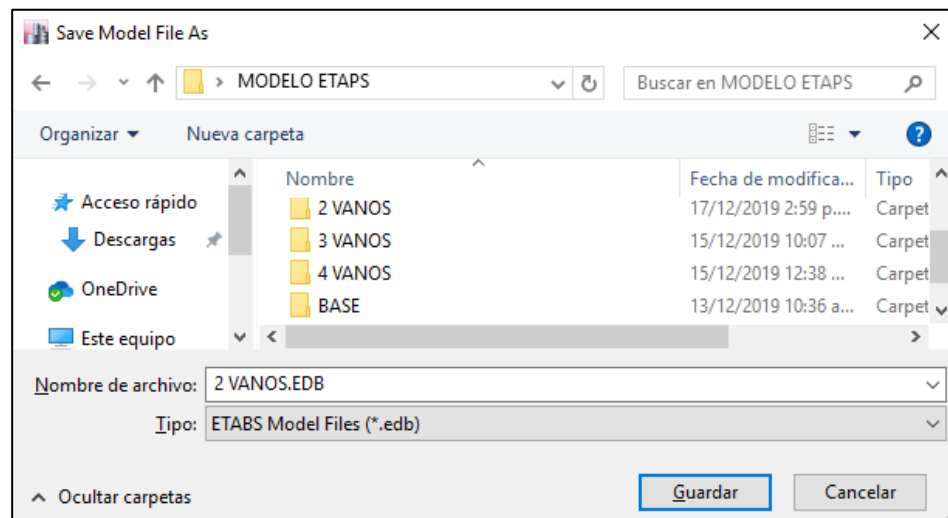


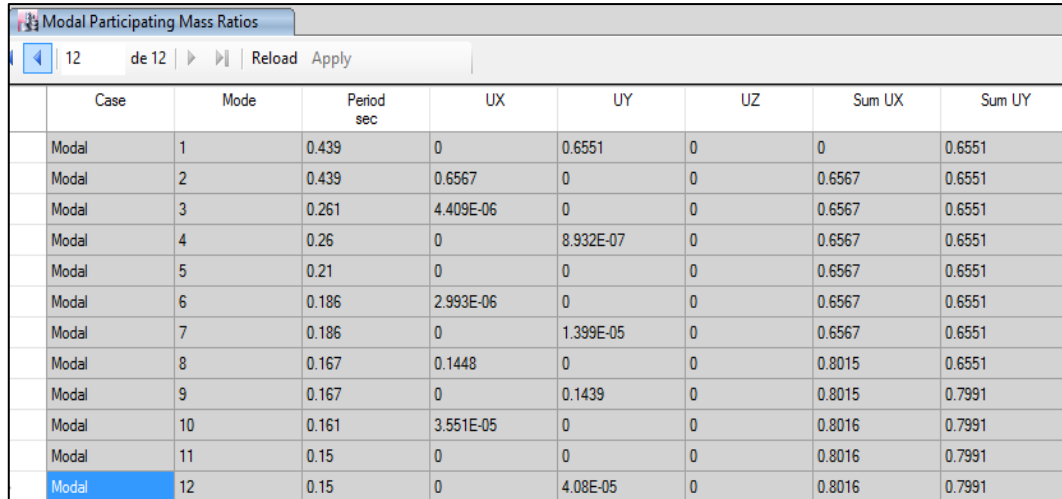
Figura 42: Grabado del archivo con extensión .edb

Fuente: Etabs [captura de pantalla]

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados del Análisis Modal

3.1.1. Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 0

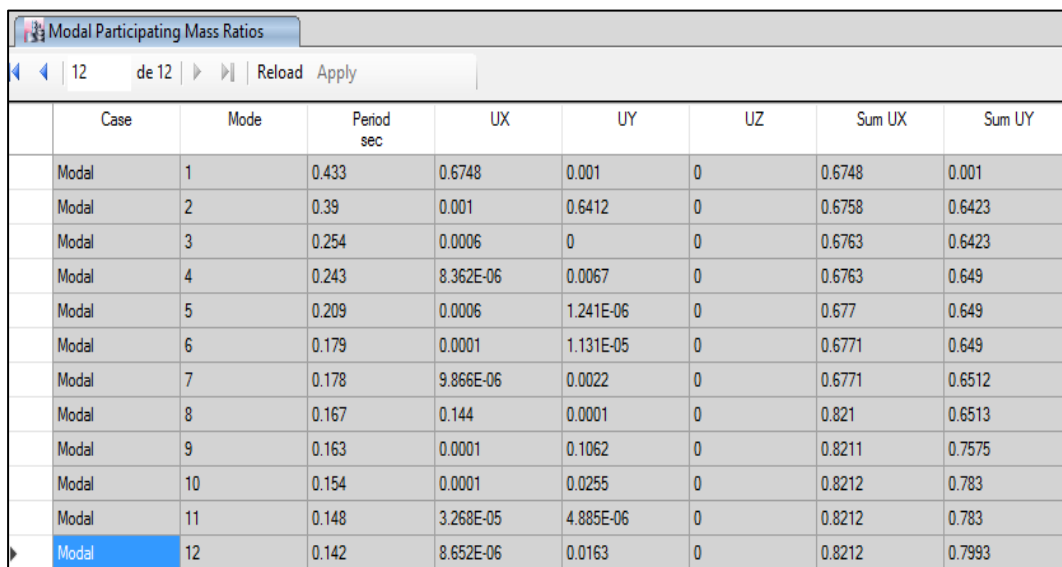


Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.439	0	0.6551	0	0	0.6551
Modal	2	0.439	0.6567	0	0	0.6567	0.6551
Modal	3	0.261	4.409E-06	0	0	0.6567	0.6551
Modal	4	0.26	0	8.932E-07	0	0.6567	0.6551
Modal	5	0.21	0	0	0	0.6567	0.6551
Modal	6	0.186	2.993E-06	0	0	0.6567	0.6551
Modal	7	0.186	0	1.399E-05	0	0.6567	0.6551
Modal	8	0.167	0.1448	0	0	0.8015	0.6551
Modal	9	0.167	0	0.1439	0	0.8015	0.7991
Modal	10	0.161	3.551E-05	0	0	0.8016	0.7991
Modal	11	0.15	0	0	0	0.8016	0.7991
Modal	12	0.15	0	4.08E-05	0	0.8016	0.7991

Figura 43 Porcentaje de masas participativa en Eco-domo 0 (sin vanos)

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

3.1.2. Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 1



Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.433	0.6748	0.001	0	0.6748	0.001
Modal	2	0.39	0.001	0.6412	0	0.6758	0.6423
Modal	3	0.254	0.0006	0	0	0.6763	0.6423
Modal	4	0.243	8.362E-06	0.0067	0	0.6763	0.649
Modal	5	0.209	0.0006	1.241E-06	0	0.677	0.649
Modal	6	0.179	0.0001	1.131E-05	0	0.6771	0.649
Modal	7	0.178	9.866E-06	0.0022	0	0.6771	0.6512
Modal	8	0.167	0.144	0.0001	0	0.821	0.6513
Modal	9	0.163	0.0001	0.1062	0	0.8211	0.7575
Modal	10	0.154	0.0001	0.0255	0	0.8212	0.783
Modal	11	0.148	3.268E-05	4.885E-06	0	0.8212	0.783
Modal	12	0.142	8.652E-06	0.0163	0	0.8212	0.7993

Figura 44 Porcentaje de masas participativa en Eco-domo 1 (con 1 vano)

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

3.1.3. Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 2

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.406	0.6929	0.001	0	0.6929	0.001
Modal	2	0.382	0.0006	0.645	0	0.6936	0.646
Modal	3	0.25	0.0007	0.0007	0	0.6943	0.6467
Modal	4	0.237	0.0035	0.0054	0	0.6978	0.6521
Modal	5	0.205	0.0005	0.0011	0	0.6984	0.6532
Modal	6	0.175	0.0029	0.0004	0	0.7013	0.6535
Modal	7	0.175	0.0009	0.0093	0	0.7022	0.6628
Modal	8	0.166	0.1309	0.0012	0	0.8331	0.664
Modal	9	0.162	0.0004	0.1097	0	0.8335	0.7736
Modal	10	0.151	0.0001	0.0226	0	0.8336	0.7962
Modal	11	0.147	2.945E-05	0.0001	0	0.8336	0.7963
Modal	12	0.139	0.0001	0.0123	0	0.8337	0.8086

Figura 45 Porcentaje de masas participativa en Eco-domo 2 (con 2 vanos)

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

3.1.4. Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 3

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.383	0.6871	0.0272	0	0.6871	0.0272
Modal	2	0.374	0.0303	0.6266	0	0.7174	0.6538
Modal	3	0.247	0.0017	3.504E-05	0	0.719	0.6538
Modal	4	0.232	6.057E-06	0.004	0	0.719	0.6578
Modal	5	0.203	0.0007	0	0	0.7197	0.6578
Modal	6	0.172	0.0011	0.0211	0	0.7208	0.679
Modal	7	0.171	0.0167	0.002	0	0.7375	0.6809
Modal	8	0.164	0.1071	0.0012	0	0.8446	0.6821
Modal	9	0.161	0.0008	0.1081	0	0.8454	0.7902
Modal	10	0.15	2.213E-06	0.0205	0	0.8454	0.8107
Modal	11	0.145	2.825E-05	0.0001	0	0.8454	0.8108
Modal	12	0.138	8.187E-07	0.0071	0	0.8454	0.8178

Figura 46 Porcentaje de masas participativa en Eco-domo 3 (con 3 vanos)

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

3.1.5. Porcentaje de masas participativa y periodo en Eco-domo 4

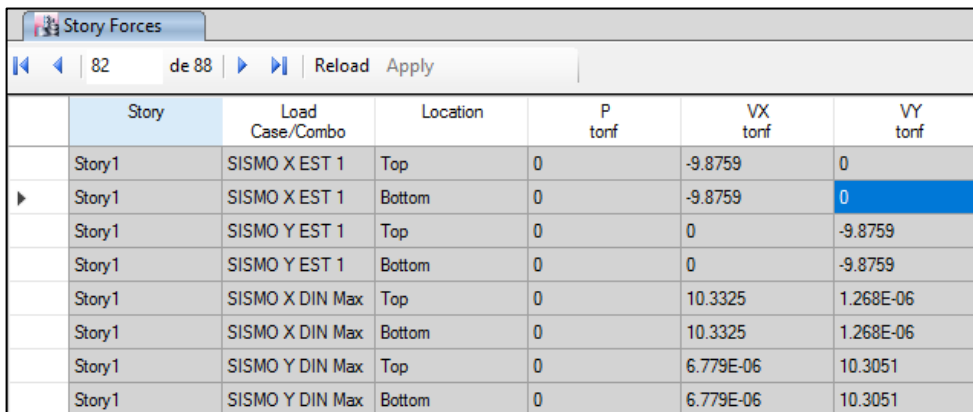
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.375	0.7191	0.0032	0	0.7191	0.0032
Modal	2	0.352	0.0034	0.6764	0	0.7225	0.6796
Modal	3	0.243	0.0001	0.0001	0	0.7226	0.6797
Modal	4	0.225	5.047E-06	0.0003	0	0.7226	0.68
Modal	5	0.2	3.862E-05	5.025E-06	0	0.7226	0.68
Modal	6	0.168	0.0155	0.005	0	0.7382	0.685
Modal	7	0.167	0.0304	0.0078	0	0.7685	0.6928
Modal	8	0.164	0.0827	0.0033	0	0.8512	0.6961
Modal	9	0.16	0.0007	0.1088	0	0.8519	0.8048
Modal	10	0.146	1.486E-05	0.0164	0	0.8519	0.8213
Modal	11	0.144	1.568E-05	0.0009	0	0.852	0.8222
Modal	12	0.133	0	0.0102	0	0.852	0.8323

Figura 47 Porcentaje de masas participativa en Eco-domo 4 (con 4 vanos)

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

3.2. Resultado de Cortante Basal Dinámica y Cortante Basal Estática

3.2.1. Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 0



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
Story1	SISMO X EST 1	Top	0	-9.8759	0
Story1	SISMO X EST 1	Bottom	0	-9.8759	0
Story1	SISMO Y EST 1	Top	0	0	-9.8759
Story1	SISMO Y EST 1	Bottom	0	0	-9.8759
Story1	SISMO X DIN Max	Top	0	10.3325	1.268E-06
Story1	SISMO X DIN Max	Bottom	0	10.3325	1.268E-06
Story1	SISMO Y DIN Max	Top	0	6.779E-06	10.3051
Story1	SISMO Y DIN Max	Bottom	0	6.779E-06	10.3051

Figura 48 Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 0

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

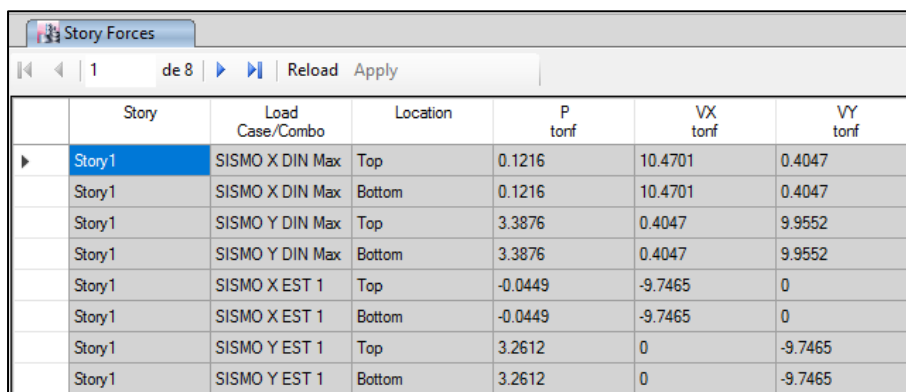
Tabla 13:

Factor escala para el análisis sísmico de eco-domo 0

Datos	Vx (Tn)	Vy (Tn)
Vdin	10.33	10.31
Vest	-9.88	-9.88
Vdin / Vest	1.05	1.04
Configuración	irregular	irregular
Coefficiente Mínimo	0.9	0.9
Factor Escala	1.00	1.00

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.2.2. Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 1



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
Story1	SISMO X DIN Max	Top	0.1216	10.4701	0.4047
Story1	SISMO X DIN Max	Bottom	0.1216	10.4701	0.4047
Story1	SISMO Y DIN Max	Top	3.3876	0.4047	9.9552
Story1	SISMO Y DIN Max	Bottom	3.3876	0.4047	9.9552
Story1	SISMO X EST 1	Top	-0.0449	-9.7465	0
Story1	SISMO X EST 1	Bottom	-0.0449	-9.7465	0
Story1	SISMO Y EST 1	Top	3.2612	0	-9.7465
Story1	SISMO Y EST 1	Bottom	3.2612	0	-9.7465

Figura 49 Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 1

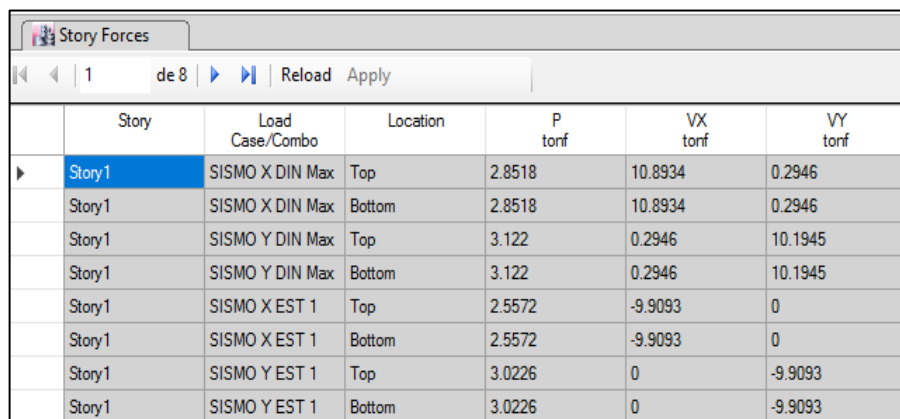
Fuente: ETABS [captura de pantalla]

Tabla 14:
Factor escala para el análisis sísmico de Eco-domo 1

Datos	V _x (Tn)	V _y (Tn)
V _{din}	10.47	9.96
V _{est}	-9.75	-9.75
V _{din} / V _{est}	1.07	1.02
Configuración	irregular	irregular
Coefficiente Mínimo	0.9	0.9
Factor Escala	1.00	1.00

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.2.3. Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 2



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
Story1	SISMO X DIN Max	Top	2.8518	10.8934	0.2946
Story1	SISMO X DIN Max	Bottom	2.8518	10.8934	0.2946
Story1	SISMO Y DIN Max	Top	3.122	0.2946	10.1945
Story1	SISMO Y DIN Max	Bottom	3.122	0.2946	10.1945
Story1	SISMO X EST 1	Top	2.5572	-9.9093	0
Story1	SISMO X EST 1	Bottom	2.5572	-9.9093	0
Story1	SISMO Y EST 1	Top	3.0226	0	-9.9093
Story1	SISMO Y EST 1	Bottom	3.0226	0	-9.9093

Figura 50 Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 2

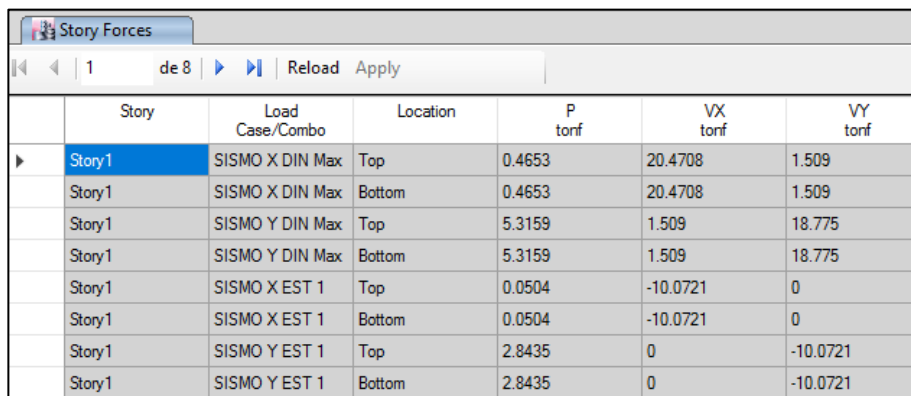
Fuente: ETABS [captura de pantalla]

Tabla 15:
Factor escala para el análisis sísmico de Eco-domo 2

Datos	V _x (Tn)	V _y (Tn)
V _{din}	10.89	10.19
V _{est}	-9.91	-9.91
V _{din} / V _{est}	1.10	1.03
Configuración	irregular	irregular
Coefficiente mínimo	0.9	0.9
Factor Escala	1.00	1.00

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.2.4. Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 3



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
Story1	SISMO X DIN Max	Top	0.4653	20.4708	1.509
Story1	SISMO X DIN Max	Bottom	0.4653	20.4708	1.509
Story1	SISMO Y DIN Max	Top	5.3159	1.509	18.775
Story1	SISMO Y DIN Max	Bottom	5.3159	1.509	18.775
Story1	SISMO X EST 1	Top	0.0504	-10.0721	0
Story1	SISMO X EST 1	Bottom	0.0504	-10.0721	0
Story1	SISMO Y EST 1	Top	2.8435	0	-10.0721
Story1	SISMO Y EST 1	Bottom	2.8435	0	-10.0721

Figura 51 Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 3

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

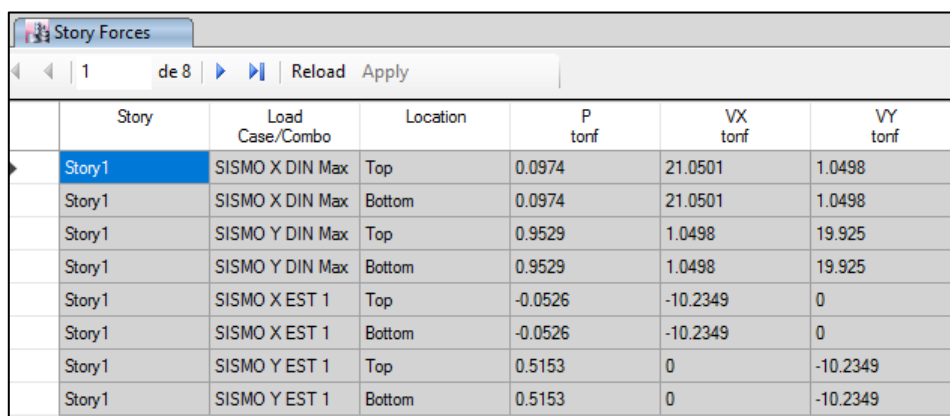
Tabla 16:

Factor escala para el análisis sísmico de Eco-domo 3

Datos	Vx (Tn)	Vy (Tn)
Vdin	20.47	18.78
Vest	-10.07	-10.07
Vdin / Vest	2.03	1.86
Configuración	irregular	irregular
Coefficiente Mínimo	0.9	0.9
Factor Escala	1.00	1.00

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.2.5. Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 4



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
Story1	SISMO X DIN Max	Top	0.0974	21.0501	1.0498
Story1	SISMO X DIN Max	Bottom	0.0974	21.0501	1.0498
Story1	SISMO Y DIN Max	Top	0.9529	1.0498	19.925
Story1	SISMO Y DIN Max	Bottom	0.9529	1.0498	19.925
Story1	SISMO X EST 1	Top	-0.0526	-10.2349	0
Story1	SISMO X EST 1	Bottom	-0.0526	-10.2349	0
Story1	SISMO Y EST 1	Top	0.5153	0	-10.2349
Story1	SISMO Y EST 1	Bottom	0.5153	0	-10.2349

Figura 52 Máxima cortante basal dinámica y estática en Eco-domo 4

Fuente: ETABS [captura de pantalla]

Tabla 17:
Factor escala para el análisis sísmico de Eco-domo 4

Datos	V _x (Tn)	V _y (Tn)
V _{din}	21.05	19.93
V _{est}	-10.23	-10.23
V _{din} / V _{est}	2.06	1.95
Configuración	irregular	irregular
Coefficiente Mínimo	0.9	0.9
Factor Escala	1.00	1.00

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.3. Resultados de desplazamientos

Para una mejor comprensión de los resultados de desplazamientos en “X” y desplazamientos en “Y”, los resultados obtenidos fueron agrupados de acuerdo al cuadrante en el que obtuvieron. Para una mejor comprensión de los gráficos se realizó una idealización de la fuerza sísmica que actúa sobre el eco-domo, así como también los vanos presentes en él.

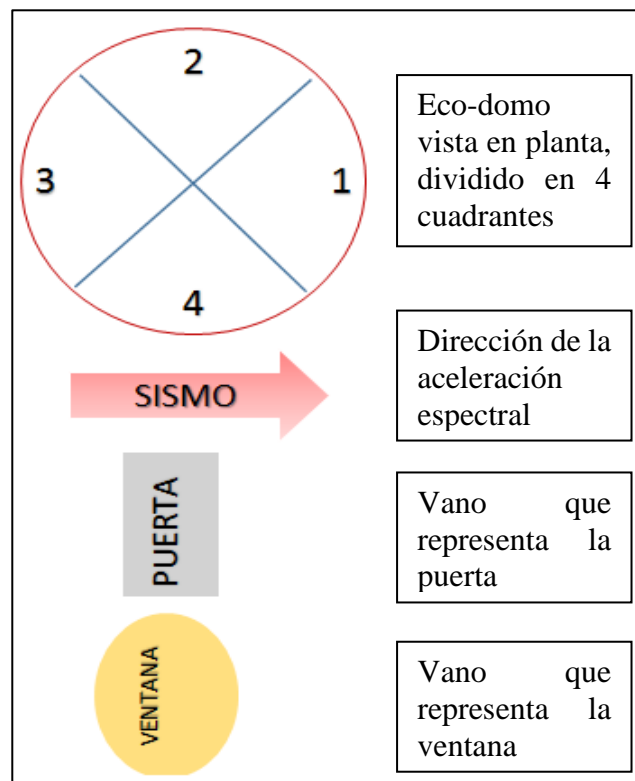


Figura 53: Gráficos de idealización del análisis sísmico en los eco-domos

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 0

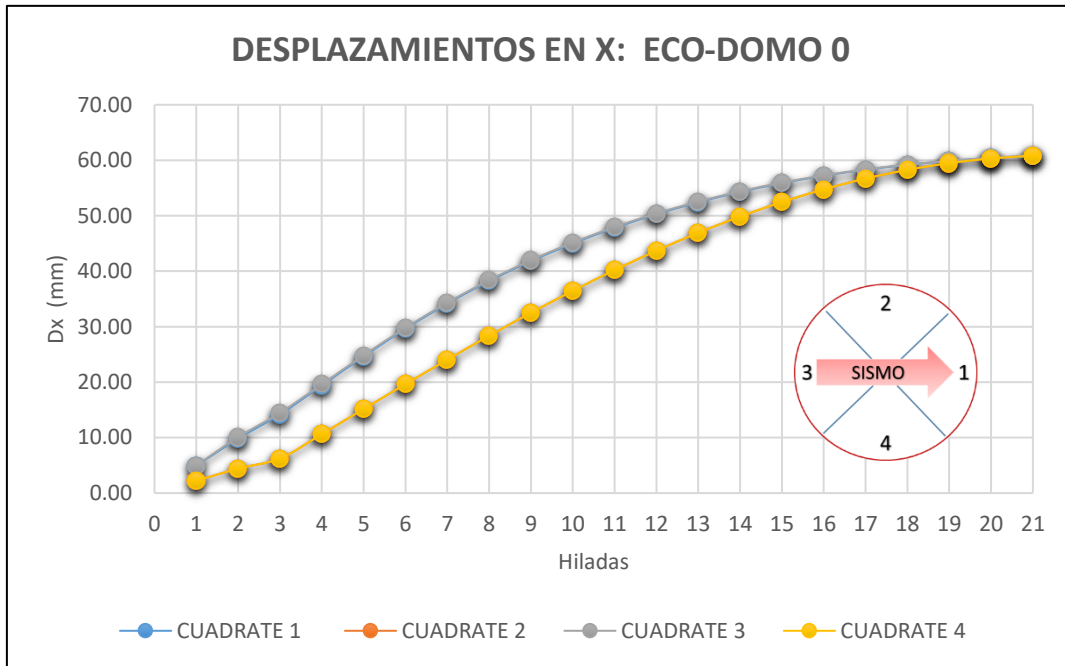


Gráfico 1: Desplazamientos en X, Eco-domo 0

Fuente: ETABS [Base de datos]

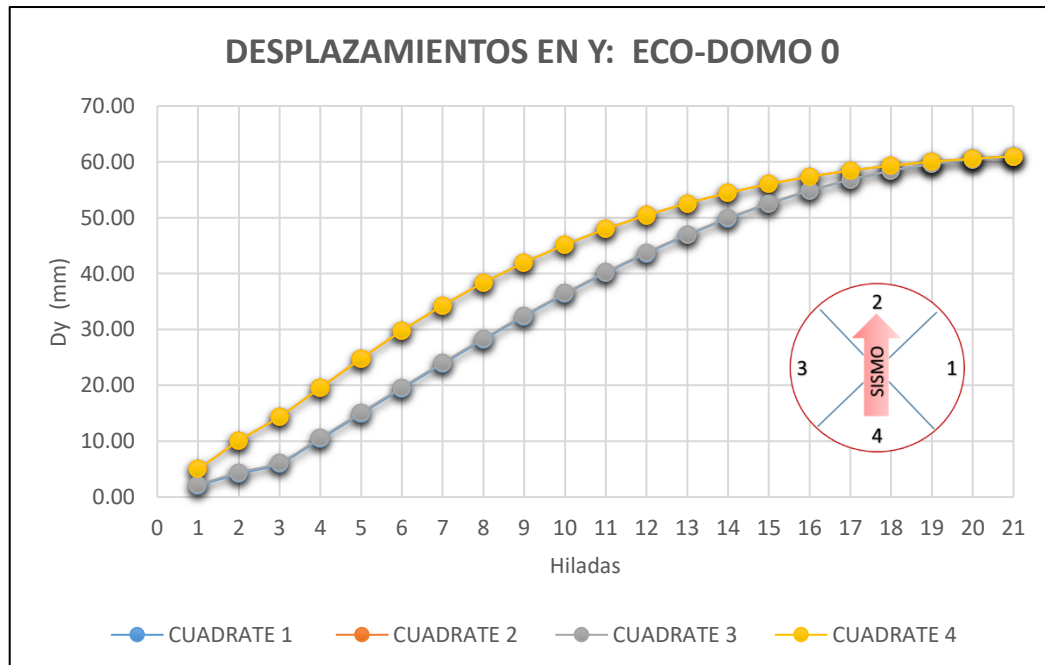


Gráfico 2: Desplazamientos en Y, Eco-domo 0

Fuente: ETABS [Base de datos]

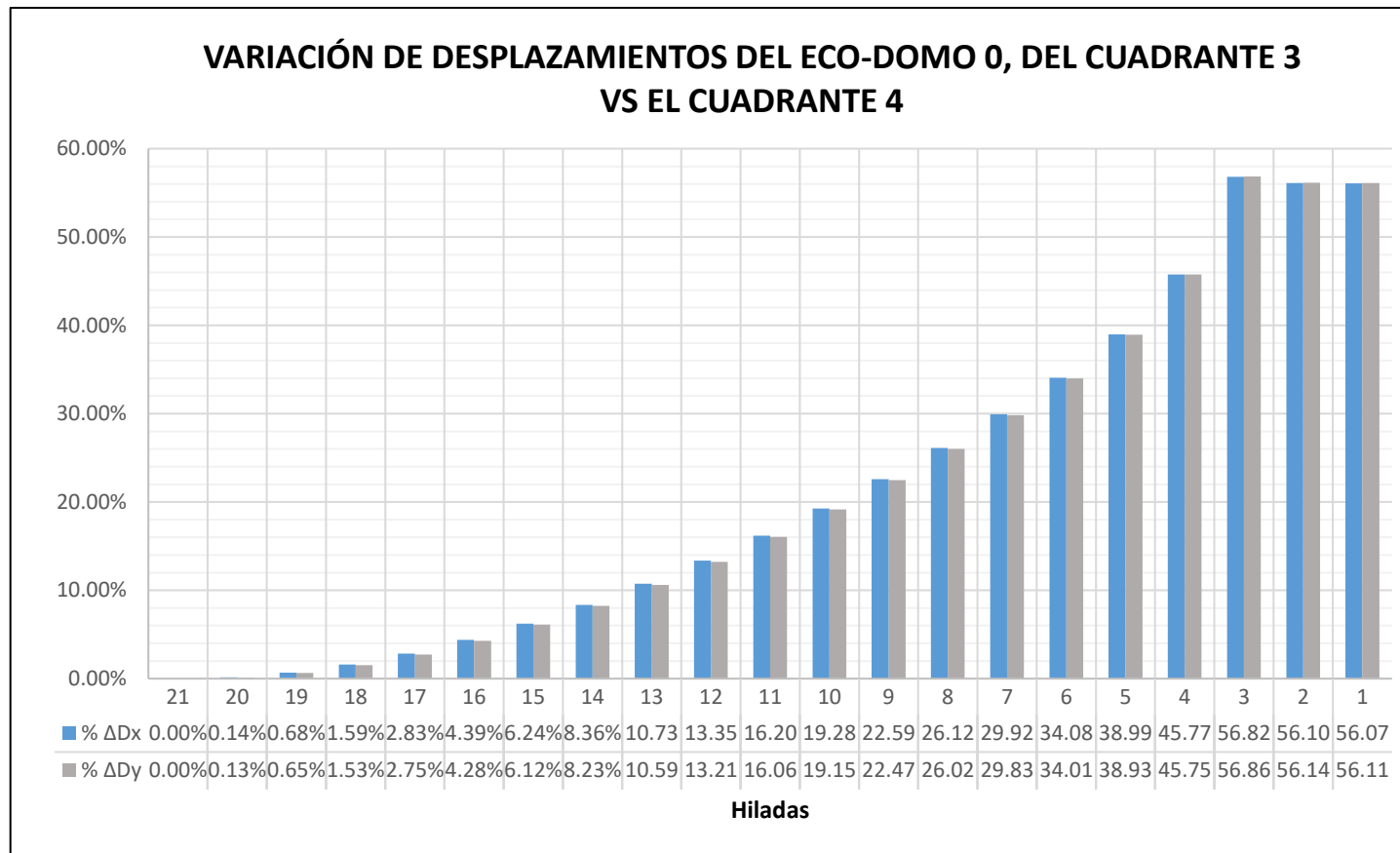


Gráfico 3: Porcentaje de variación de desplazamientos del cuadrante 3 vs el cuadrante 4 en el Eco-domo 0

Fuente: ETABS [Base de datos]

Nota: %ΔDx: Porcentaje de variación de desplazamientos en x

%ΔDy: Porcentaje de variación de desplazamientos en y

3.3.2. Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 1

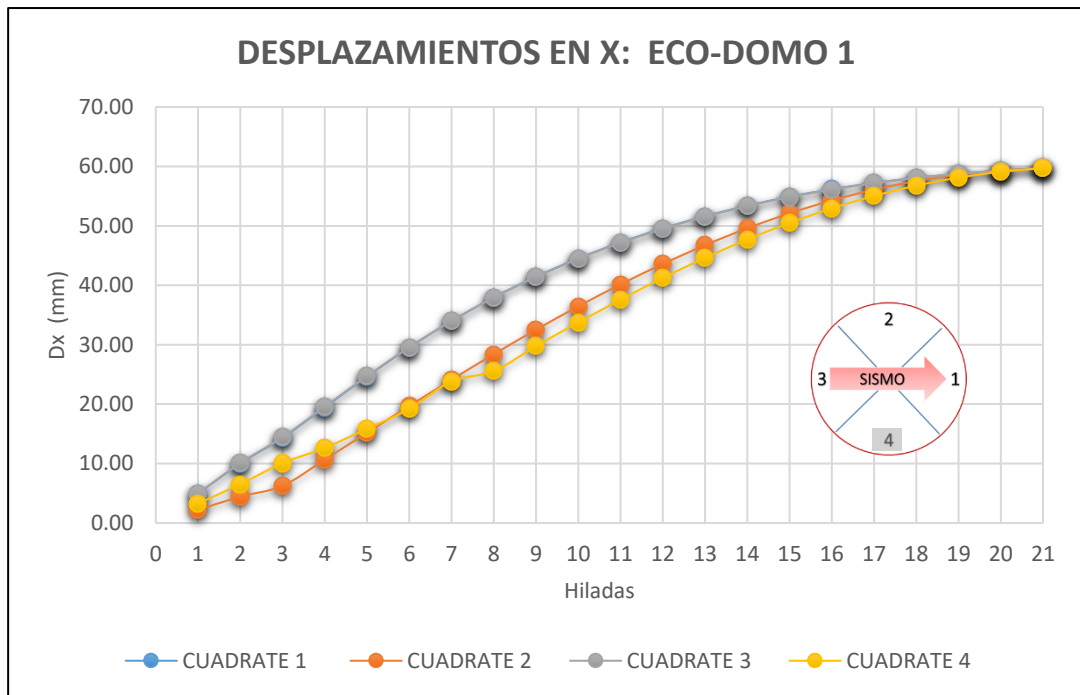


Gráfico 4: Desplazamientos en X, Eco-domo 1

Fuente: ETABS [Base de datos]

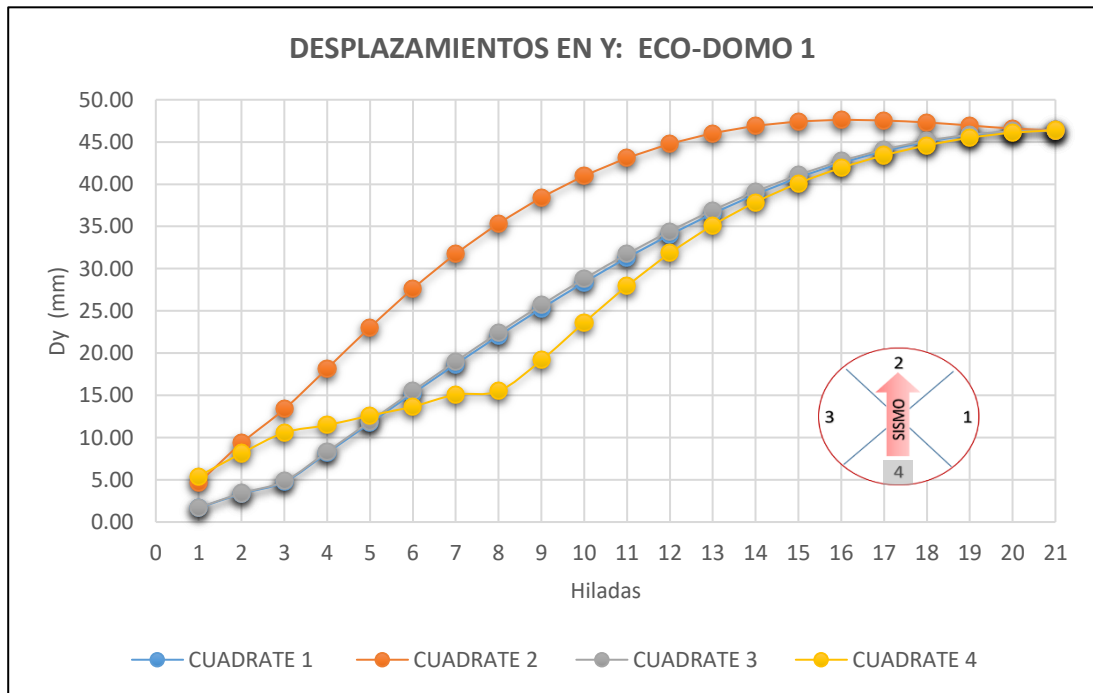


Gráfico 5: Desplazamientos en Y, Eco-domo 1

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.3.3. Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 2

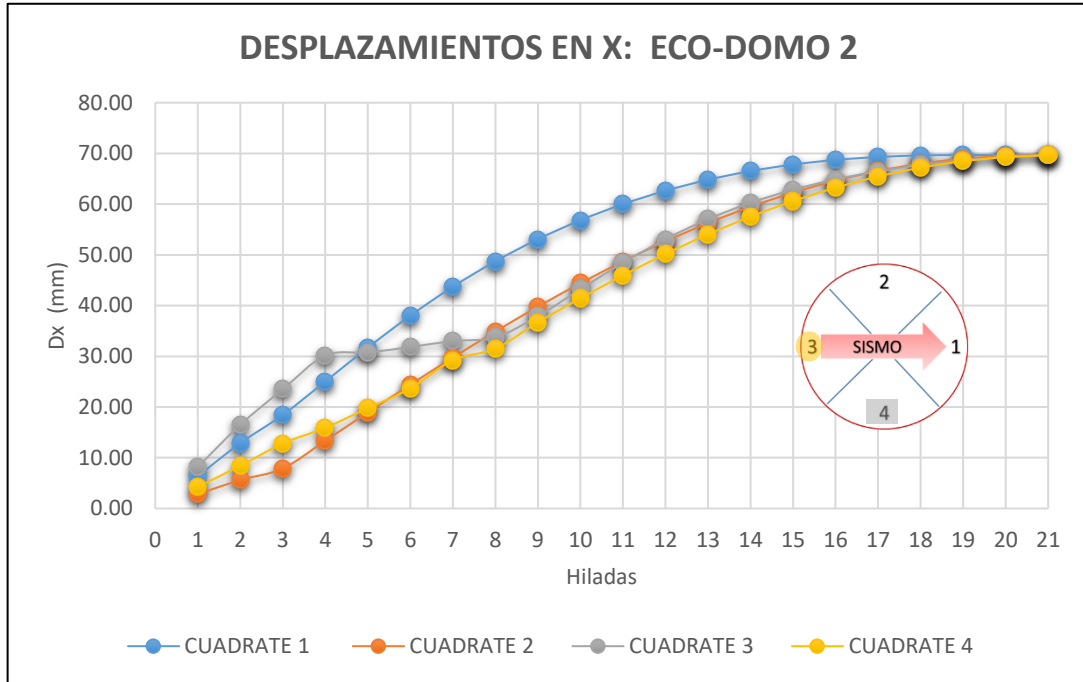


Gráfico 6: Desplazamientos en X, Eco-domo 2

Fuente: ETABS [Base de datos]

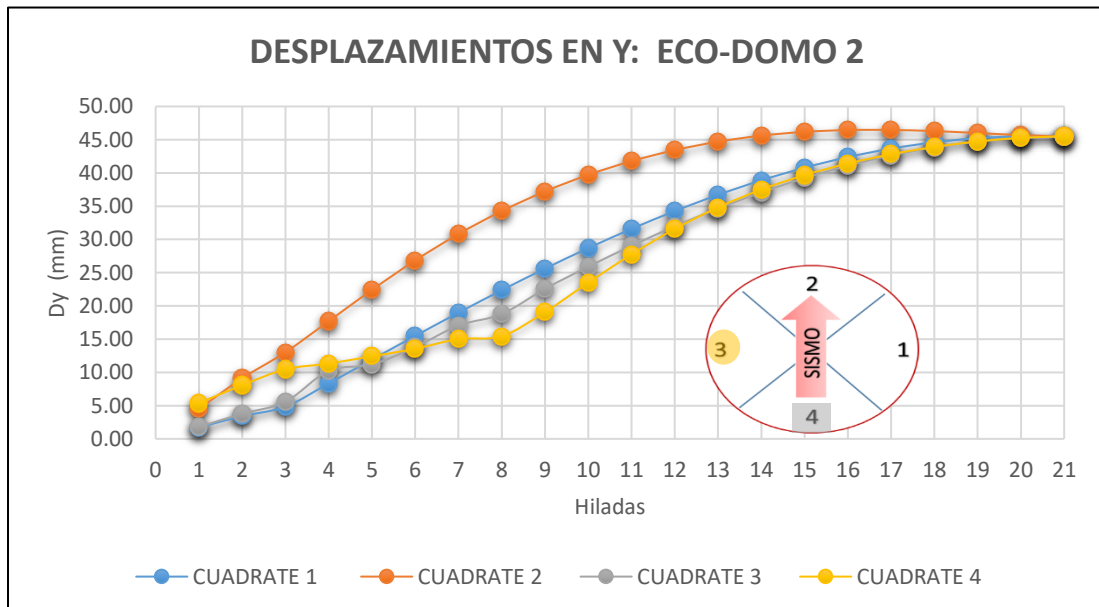


Gráfico 7: Desplazamientos en Y, Eco-domo 2

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.3.4. Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 3

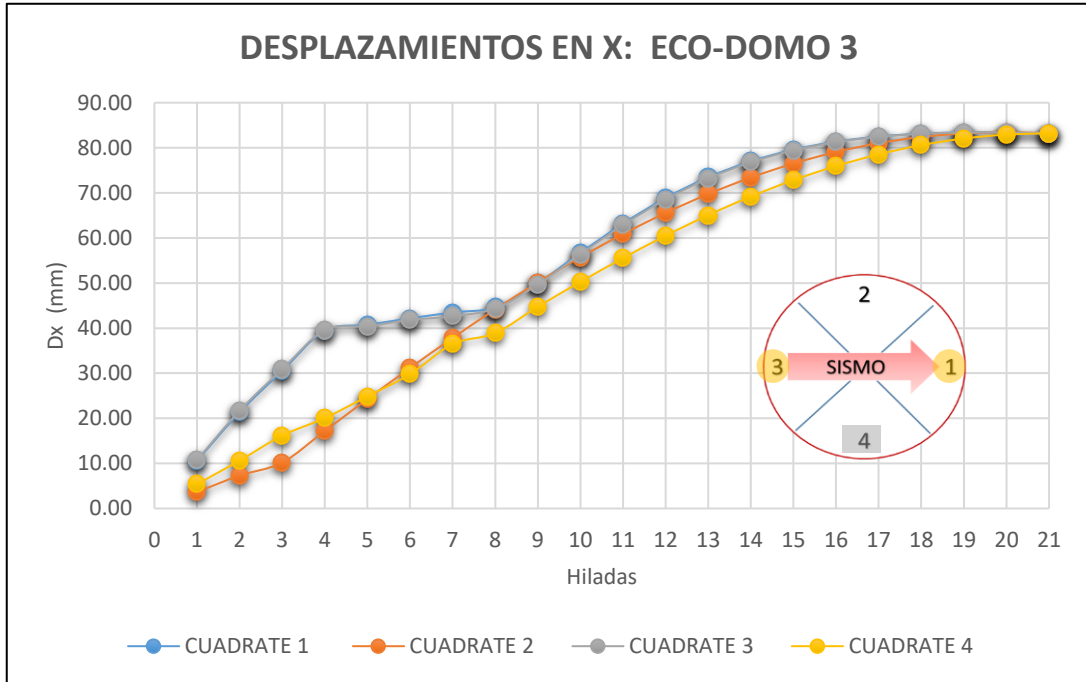


Gráfico 8: Desplazamientos en X, Eco-domo 3

Fuente: ETABS [Base de datos]

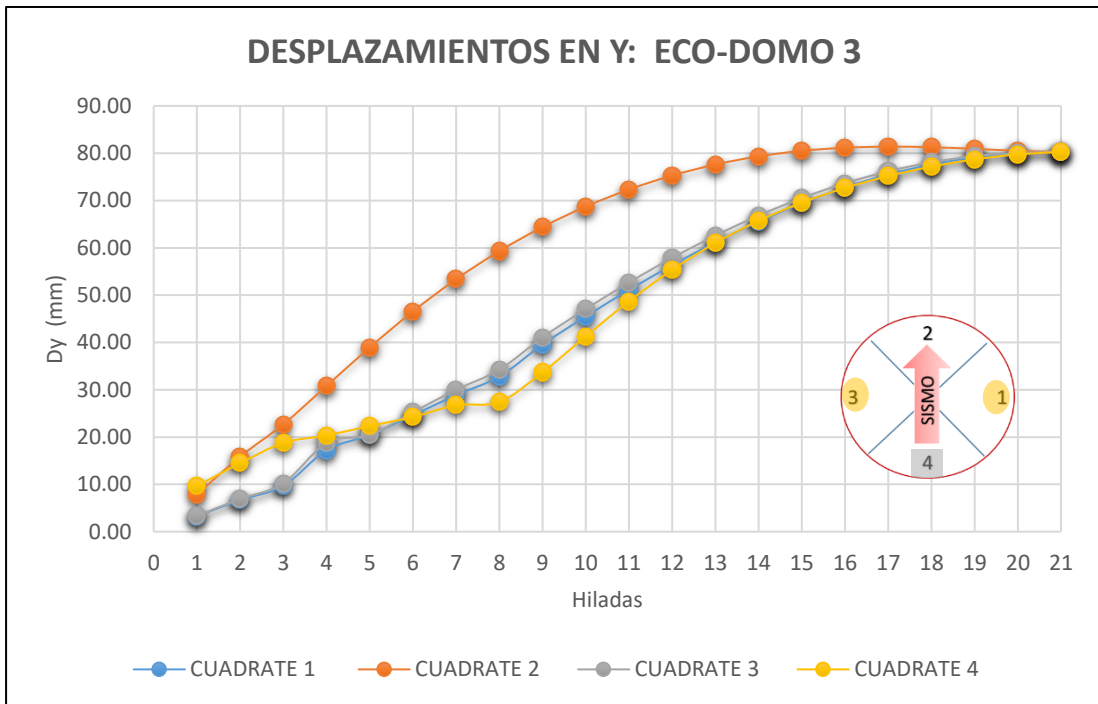


Gráfico 9: Desplazamientos en Y, Eco-domo 3

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.3.5. Desplazamientos en X e Y para Eco-domo 4

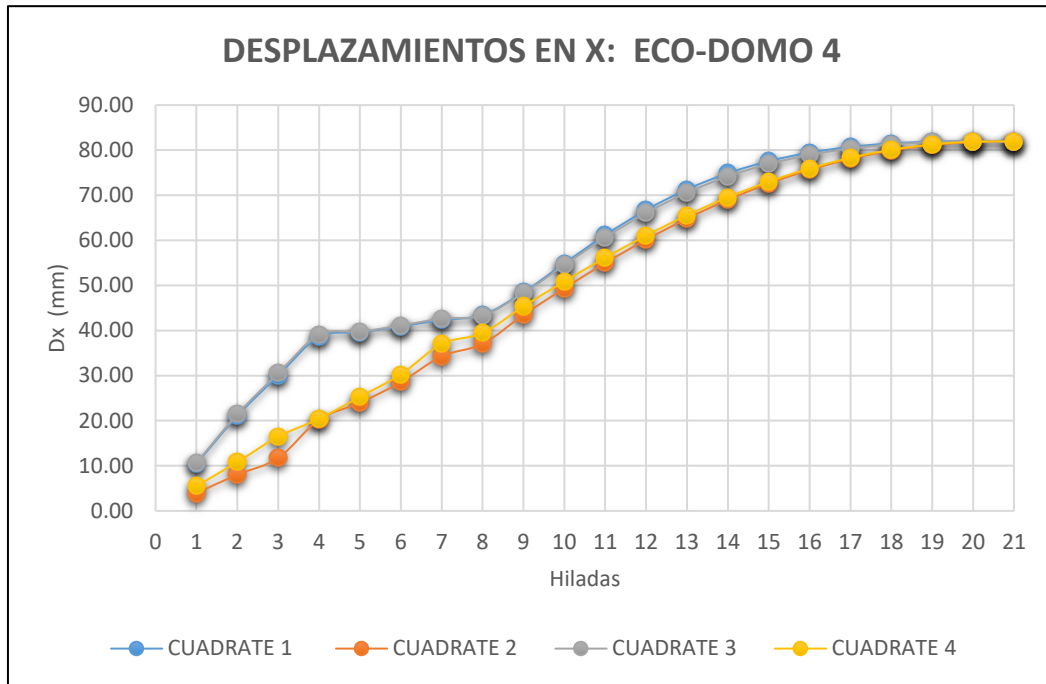


Gráfico 10: Desplazamientos en X, Eco-domo 4

Fuente: ETABS [Base de datos]

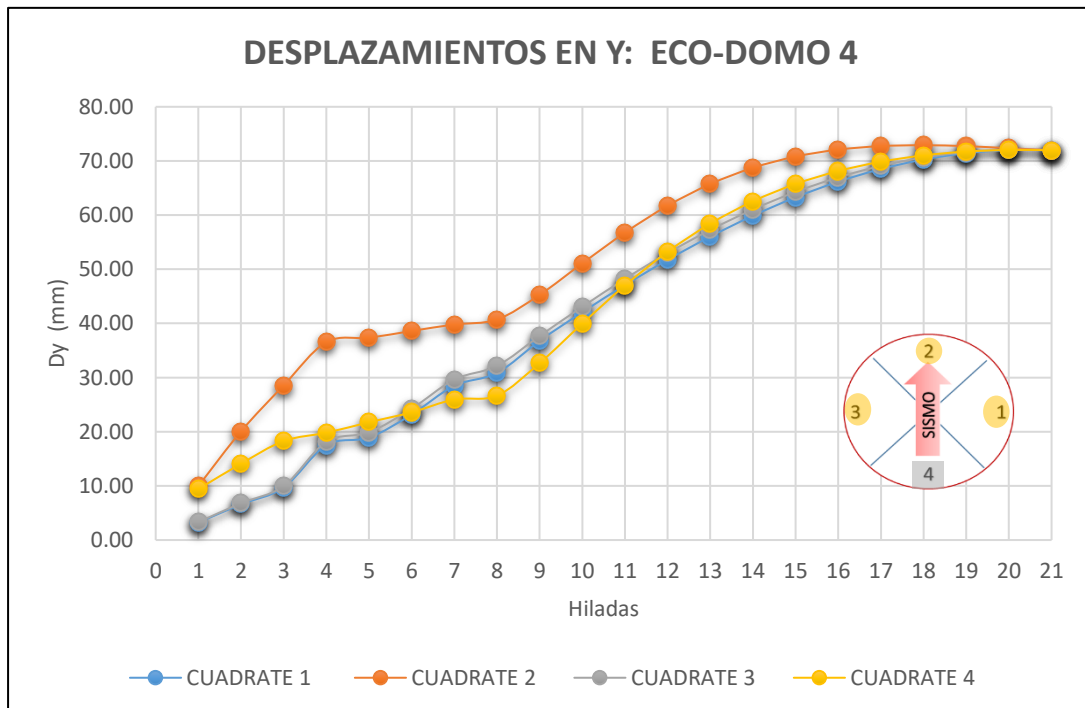


Gráfico 11: Desplazamientos en Y, Eco-domo 4

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.3.6. Porcentaje de variación de desplazamientos respecto al Eco-domo 0

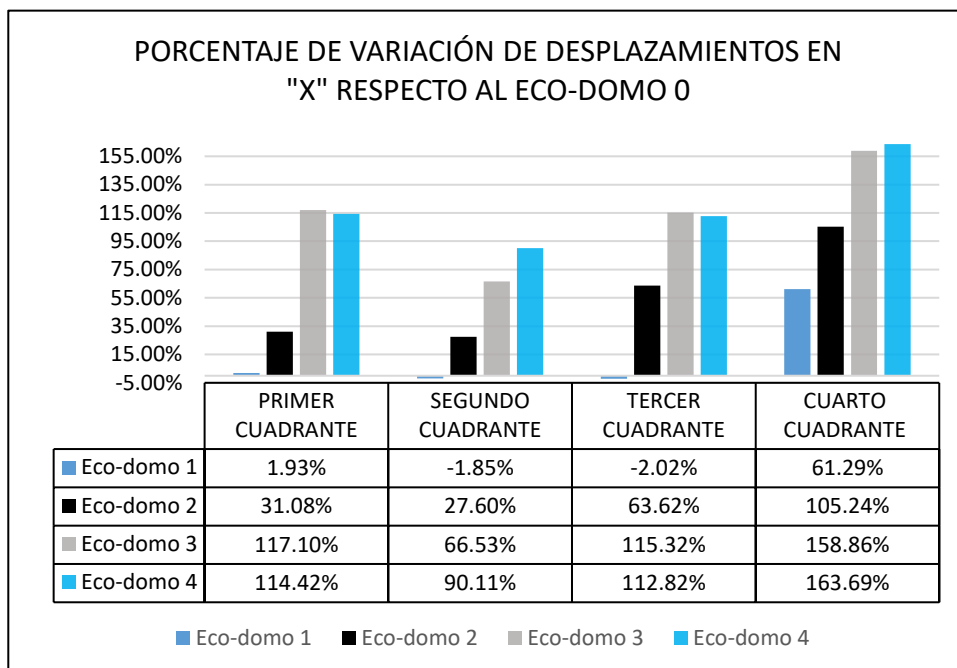


Gráfico 12: Porcentaje de variación de desplazamientos X con respecto al Eco-domo 0

Fuente: ETABS [Base de datos]

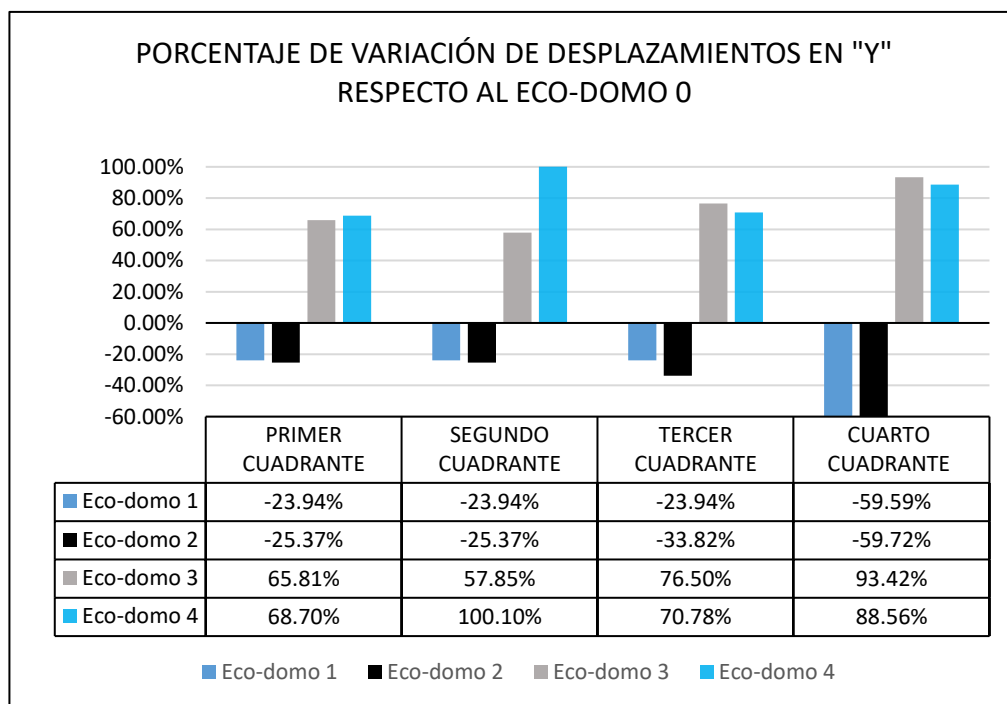


Gráfico 13: Porcentaje de variación de desplazamientos en Y con respecto al Eco-domo 0

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.4. Resultados de Distorsiones Relativas

3.4.1. Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para Eco-domo 0

Tabla 18:

Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 0

HILADA	Altura	Desplazamiento Máximos		Derivas Relativas	
	H (m)	X (mm)	Y (mm)	X	Y
21	4.52	60.83	60.98	0.0031	0.0032
20	4.39	60.41	60.55	0.0036	0.0037
19	4.24	59.89	60.02	0.0043	0.0045
18	4.09	59.21	59.32	0.0052	0.0053
17	3.92	58.35	58.44	0.0061	0.0062
16	3.75	57.27	57.34	0.0071	0.0072
15	3.56	55.97	56.02	0.0081	0.0082
14	3.37	54.40	54.44	0.0091	0.0092
13	3.17	52.56	52.58	0.0102	0.0103
12	2.96	50.43	50.43	0.0114	0.0114
11	2.74	47.97	47.97	0.0126	0.0127
10	2.52	45.17	45.15	0.0140	0.0140
9	2.29	41.99	41.97	0.0155	0.0155
8	2.06	38.39	38.36	0.0172	0.0172
7	1.82	34.33	34.29	0.0189	0.0189
6	1.58	29.79	29.75	0.0204	0.0204
5	1.34	24.84	24.79	0.0213	0.0213
4	1.09	19.62	19.57	0.0209	0.0209
3	0.85	14.46	14.41	0.0177	0.0176
2	0.60	10.09	10.06	0.0170	0.0169
1	0.30	5.00	4.98	0.0167	0.0166

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.4.2. Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 1

Tabla 19:

Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 1

HILADA	Altura	Desplazamiento Máximos		Derivas Relativas	
	H (m)	X (mm)	Y (mm)	X	Y
21	4.52	59.70	46.38	0.0029	0.0015
20	4.39	59.31	46.59	0.0038	0.0025
19	4.24	58.75	46.95	0.0044	0.0023
18	4.09	58.07	47.31	0.0052	0.0014
17	3.92	57.21	47.53	0.0060	0.0004
16	3.75	56.16	47.61	0.0069	0.0011
15	3.56	54.89	47.40	0.0078	0.0027
14	3.37	53.38	46.89	0.0088	0.0043
13	3.17	51.62	46.01	0.0098	0.0060
12	2.96	49.57	44.75	0.0109	0.0078
11	2.74	47.21	43.08	0.0121	0.0095
10	2.52	44.52	40.97	0.0135	0.0113
9	2.29	41.45	38.40	0.0150	0.0132
8	2.06	37.95	35.33	0.0167	0.0152
7	1.82	33.99	31.74	0.0184	0.0171
6	1.58	29.58	27.63	0.0200	0.0189
5	1.34	24.73	23.05	0.0210	0.0199
4	1.09	19.58	18.18	0.0208	0.0195
3	0.85	14.45	13.38	0.0176	0.0163
2	0.60	10.10	9.34	0.0170	0.0131
1	0.30	5.00	5.42	0.0167	0.0181

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.4.3. Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 2

Tabla 20:

Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 2

HILADA	Altura	Desplazamiento Máximos		Derivas Relativas	
	H (m)	X (mm)	Y (mm)	X	Y
21	4.52	69.66	45.51	0.0000	0.0013
20	4.39	69.66	45.69	0.0002	0.0022
19	4.24	69.69	46.00	0.0006	0.0019
18	4.09	69.60	46.29	0.0018	0.0010
17	3.92	69.30	46.47	0.0033	0.0001
16	3.75	68.72	46.45	0.0049	0.0015
15	3.56	67.81	46.18	0.0067	0.0029
14	3.37	66.52	45.61	0.0085	0.0045
13	3.17	64.81	44.71	0.0104	0.0061
12	2.96	62.64	43.44	0.0123	0.0077
11	2.74	59.99	41.78	0.0143	0.0093
10	2.52	56.82	39.72	0.0164	0.0110
9	2.29	53.09	37.22	0.0187	0.0127
8	2.06	48.74	34.27	0.0212	0.0146
7	1.82	43.72	30.81	0.0237	0.0165
6	1.58	38.02	26.84	0.0259	0.0182
5	1.34	31.72	22.42	0.0064	0.0192
4	1.09	30.16	17.70	0.0270	0.0189
3	0.85	23.51	13.03	0.0284	0.0159
2	0.60	16.49	9.10	0.0277	0.0124
1	0.30	8.18	5.39	0.0273	0.0180

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.4.4. Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 3

Tabla 21:

Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 3

HILADA	Altura	Desplazamiento Máximos		Derivas Relativas	
	H (m)	X (mm)	Y (mm)	X	Y
21	4.52	83.206	80.27	0.0016	0.0017
20	4.39	83.424	80.502	0.0002	0.0029
19	4.24	83.397	80.922	0.0016	0.0022
18	4.09	83.142	81.268	0.0038	0.0007
17	3.92	82.505	81.387	0.0065	0.0013
16	3.75	81.367	81.162	0.0096	0.0036
15	3.56	79.585	80.503	0.0133	0.0060
14	3.37	77.003	79.337	0.0176	0.0086
13	3.17	73.461	77.611	0.0220	0.0111
12	2.96	68.855	75.287	0.0263	0.0137
11	2.74	63.186	72.334	0.0292	0.0163
10	2.52	56.708	68.721	0.0288	0.0190
9	2.29	50.148	64.4	0.0237	0.0219
8	2.06	44.642	59.308	0.0050	0.0251
7	1.82	43.465	53.373	0.0053	0.0284
6	1.58	42.182	46.562	0.0059	0.0313
5	1.34	40.737	38.944	0.0048	0.0332
4	1.09	39.563	30.796	0.0352	0.0328
3	0.85	30.89	22.704	0.0372	0.0277
2	0.60	21.684	15.863	0.0364	0.0207
1	0.30	10.766	9.64	0.0359	0.0321

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.4.5. Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-domo 4

Tabla 22:

Máximos desplazamientos y distorsiones relativas para eco-4

HILADA	Altura	Desplazamiento Máximos		Derivas Relativas	
	H (m)	X (mm)	Y (mm)	X	Y
21	4.52	81.92	71.98	0.0005	0.0028
20	4.39	81.99	72.35	0.0006	0.0026
19	4.24	81.89	72.73	0.0025	0.0011
18	4.09	81.51	72.90	0.0047	0.0010
17	3.92	80.74	72.74	0.0072	0.0037
16	3.75	79.46	72.09	0.0103	0.0069
15	3.56	77.56	70.80	0.0138	0.0107
14	3.37	74.89	68.73	0.0178	0.0149
13	3.17	71.30	65.73	0.0219	0.0191
12	2.96	66.72	61.73	0.0257	0.0230
11	2.74	61.17	56.76	0.0282	0.0255
10	2.52	54.91	51.09	0.0282	0.0256
9	2.29	48.49	45.28	0.0217	0.0196
8	2.06	43.44	40.73	0.0034	0.0039
7	1.82	42.63	39.80	0.0063	0.0050
6	1.58	41.12	38.60	0.0056	0.0052
5	1.34	39.75	37.35	0.0029	0.0033
4	1.09	39.05	36.55	0.0346	0.0324
3	0.85	30.52	28.56	0.0368	0.0343
2	0.60	21.43	20.07	0.0360	0.0337
1	0.30	10.64	9.97	0.0355	0.0332

Fuente: ETABS [Base de datos]

3.4.6. Comparación de máximas distorsiones relativas de Eco-domo 0, Eco-domo 1, Eco-domo 2, Eco-domo 3 y Eco-domo 4.

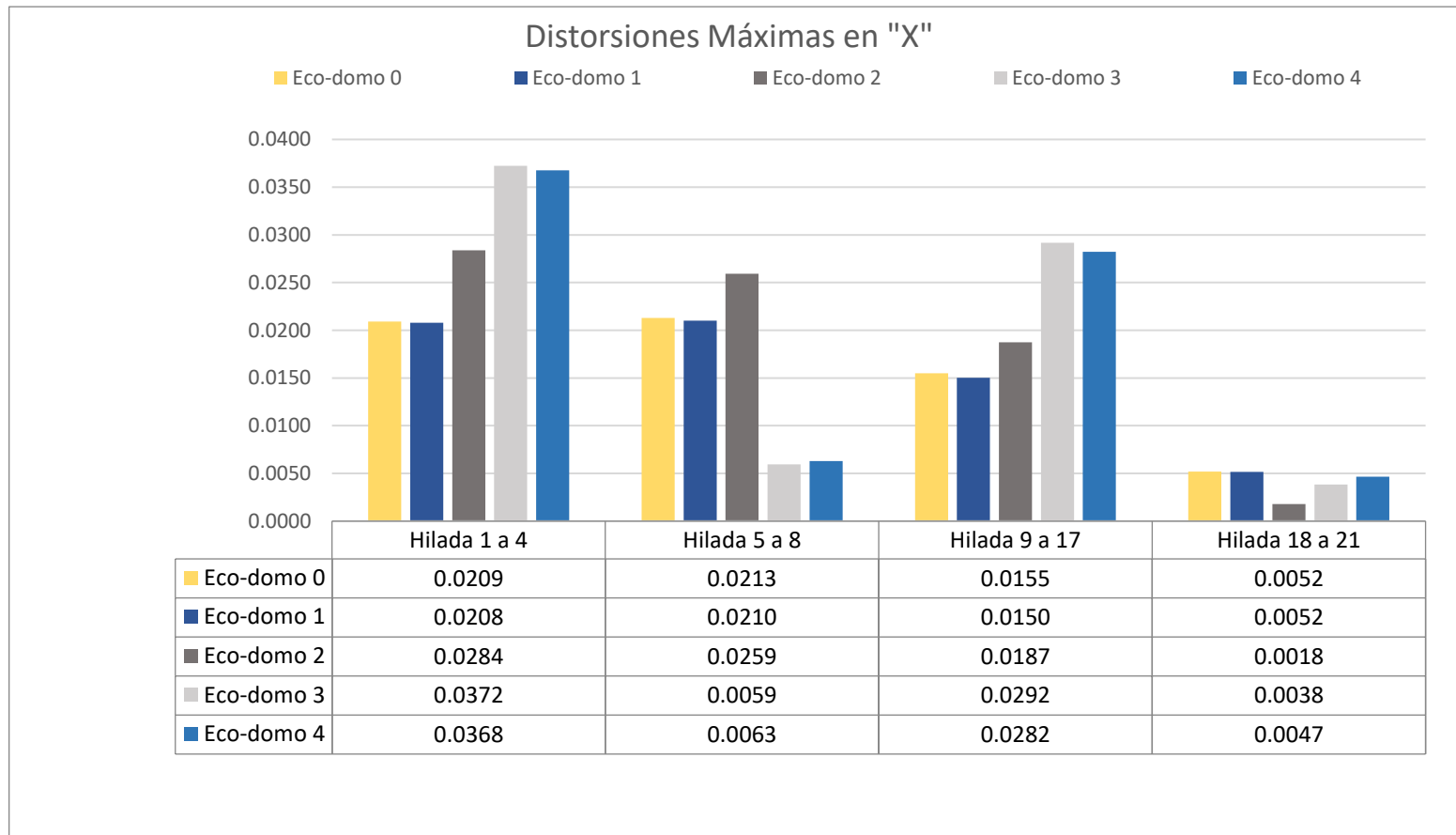


Gráfico 14: Comparación de máximas distorsiones relativas en X del eco-domo 0, eco-domo 1, eco-domo 2, eco-domo 3 y eco-domo 4

Fuente: M Excel [Captura de pantalla]

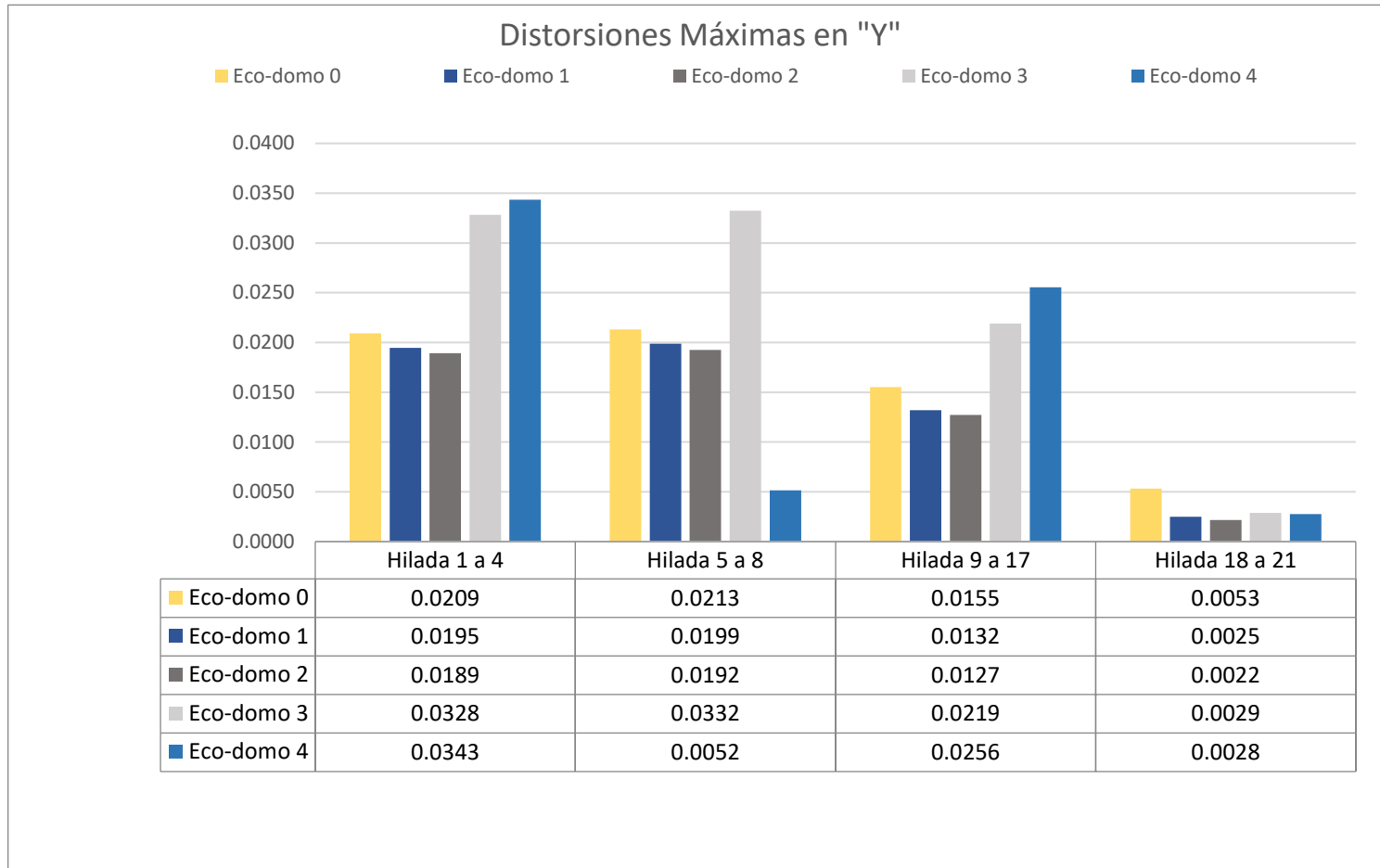


Gráfico 15: Comparación de máximas distorsiones relativas en Y del eco-domo 0, eco-domo 1, eco-domo 2, eco-domo 3 y eco-domo 4

Fuente: M Excel [Captura de pantalla]

3.5. Prueba de hipótesis de la investigación

3.5.1. Prueba de normalidad

3.5.1.1. Formulación de la hipótesis

H0: Los datos de Distorsiones Relativas siguen una distribución normal.

H1: Los datos de Distorsiones Relativas no siguen una distribución normal

3.5.1.2. Nivel de significancia

Nivel de significancia = 5% = 0.05

3.5.1.3. Elección de la prueba estadística

Prueba Estadística de Kolmogorov-Smirnov (prueba de normalidad para poblaciones mayores de 50 datos)

3.5.1.4. Estimación de significancia

*Tabla 23:
Resultados de pruebas de normalidad bajo la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov*

Indicador	Estadístico	gl	Sig.
Distorsiones Relativas en X	0.105	105	0.002
Distorsiones Relativas en Y	0.090	105	0.001

Fuente: SPSS (22). [Base de datos]

Sig. < 0.05 se rechaza la hipótesis nula y nos quedamos con la hipótesis alterna

3.5.1.5. Toma de decisión

Se acepta la hipótesis alterna (H1), Los datos de Distorsiones Relativas no siguen una distribución normal.

3.5.2. Prueba de análisis de varianza

3.5.2.1. Formulación de la hipótesis

H0: La adición de vanos no tiene una influencia significativa en las distorsiones sísmicas de una casa modelo Eco-domo arco ojival apuntado

H1: La adición de vanos tiene una influencia significativa en las distorsiones sísmicas de una casa modelo Eco-domo arco ojival apuntado.

3.5.2.2. Nivel de significancia

Nivel de significancia = 5% = 0.05

3.5.2.3. Elección de la prueba estadística

ANOVA de una vía de Kruskal-Wallis

3.5.2.4. Estimación de significancia

Tabla 24:

Resultados de la prueba de análisis de varianza bajo la prueba estadística de ANOVA de una vía de Kruskal-Wallis

Hipótesis nula	Prueba	Sig.
La distribución de Distorsiones X es la misma entre las categorías de Número de Vanos	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,909
La distribución de Distorsiones Y es la misma entre las categorías de Número de Vanos	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	0,183

Fuente: SPSS (22). [Base de datos]

Sig > 0.05 se rechaza la hipótesis alterna y nos quedamos con la hipótesis nula

3.5.2.5. Toma de decisión

Se acepta la hipótesis nula (H0). La adición de vanos no tiene una influencia significativa en las distorsiones sísmicas de una casa modelo Eco-domo arco ojival apuntado

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión de resultados

4.1.1. Análisis dinámico modal espectral

Del análisis dinámico modal espectral se logró determinar para cada caso de Eco-domo analizado, con vanos y sin vanos, sus modos de vibrar, sus porcentajes de masa participativa y sus periodos (los resultados se muestran desde la figura43 hasta la figura47). Para todas las simulaciones de los Eco-domos, se pudo observar que según se añadían vanos o aberturas en la superficie del Eco-domo, el sismo movía mayor porcentaje de las masas.

Se logró notar en los modos de vibrar para cada análisis de eco-domo, que el porcentaje de masas participativas incrementaba conforme se reducían los periodos de vibrar. Concluyendo que, los eco-domos por tener su concentración de masas en la parte inferior de la estructura, periodos altos no le afectan, ya que mueven menor porcentaje de masas en comparación cuando se generan movimientos con menores periodos de vibrar, pues estos amplían su porcentaje de masas participativas. La explicación que se genera a partir de los datos obtenidos es que nuestros eco-domos al tener una concentración de masas en la parte inferior de su estructura, los eco-domos tienden a tener periodos cortos, a diferencia de lo que ocurre en edificaciones de gran esbeltez que tienen periodos más prolongados, motivo por el cual, al aplicarle periodos cortos a la estructura, estos periodos tienden a igualarse, generando en estos entren en resonancia con el sismo y por ende moviendo mayor porcentaje de masa del eco-domo, teniendo como consecuencia que la estructura sufra mayor deformación.

Por otro lado, al comparar los resultados de porcentaje de masas participativas de los eco-domos, en los 3 primeros modos de vibrar, el porcentaje de masas participativas varía desde el 64.23% hasta un 72.26% (Ver gráfico 16), si estos resultados lo comparamos con los obtenidos por León (2019) en su investigación "Diseño de un domo de adobe sismorresistente con propiedades fotocataizadoras en la Encañada - Cajamarca", podemos notar que este llega a tener porcentajes de masa participativa hasta de 83.28% en sus tres primeros modos de vibrar. La explicación que se puede dar para este fenómeno es que, para nuestro caso la estructura en análisis (los eco-domos) tiene una concentración de masas mayor en la parte inferior del eco-domo, por considerar contrafuertes de 0.80m, lo opuesto a lo propuesto en la investigación de León (2019) quien considera espesor efectivo y constante de 0.10m en sus muros, además de adicionar refuerzos de acero a su estructura (malla hexagonal galvanizada) volviendolo a su estructura mas homogénea y liviana, propensa a mover mayor porcentaje de masa al intervenir sismos de periodos mas cortos.

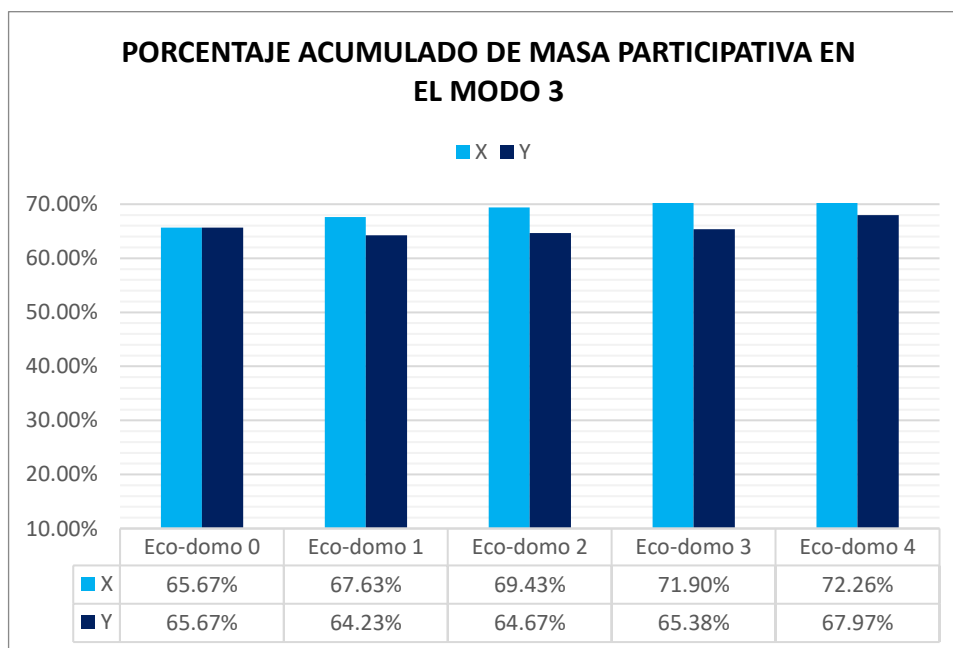


Gráfico 16: Comparación del porcentaje acumulado de masa participativa en los eco-domos, en el modo 3

Fuente: M Excel [Captura de pantalla]

La norma E-030 nos indica que, para caso de diseño, la estructura analizada tendría que tener el 90% de masa participativa como mínimo, pues esta tendría datos representativos al momento de analizarlo frente a un sismo severo.

Se analizaron las máximas cortantes basales dinámicas y estáticas para cada Eco-domo, y se generó un factor de escala para cada uno de ellos (los cuales se muestran desde la tabla13 hasta la tabla17) con la finalidad de que cumplierse con lo establecido en la norma E-030 Artículo 4.6.4 (2019) en donde nos comenta que la fuerza cortante dinámica no podrá ser menor que el 90% de la fuerza cortante estática en el primer entrepiso para estructuras irregulares y el 80% para estructuras regulares.

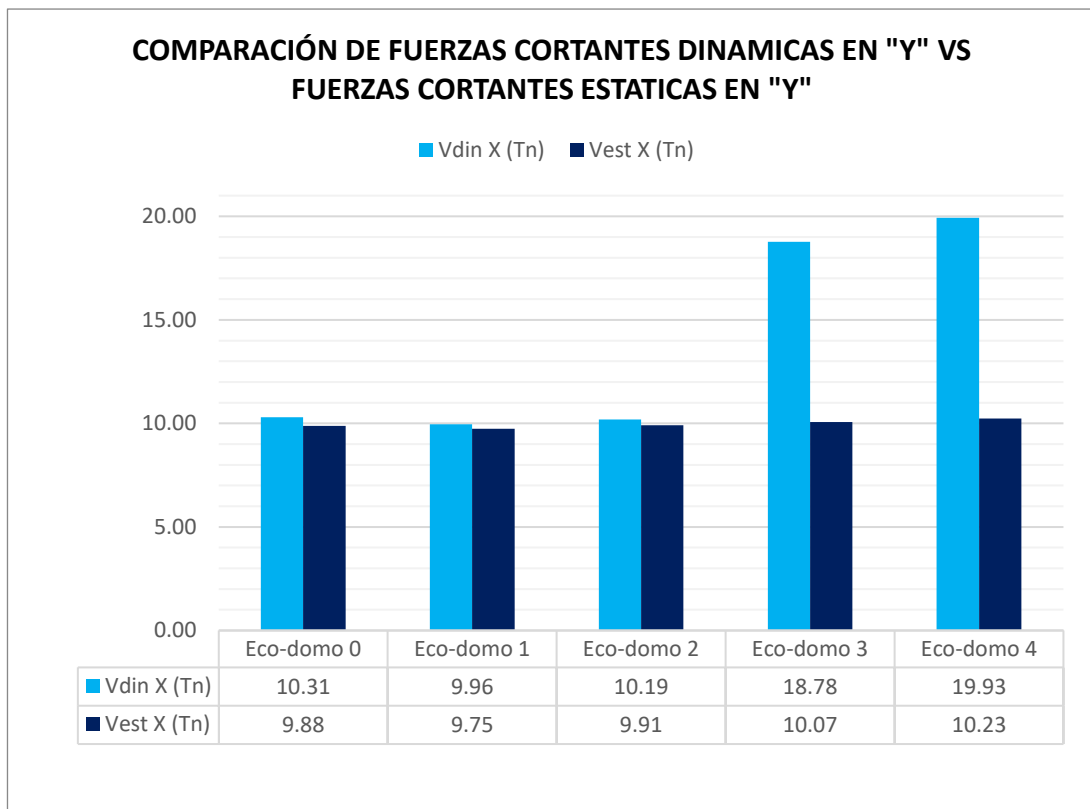


Gráfico 17: Comparación de fuerzas cortantes dinámicas en "Y" vs fuerzas cortantes estáticas en "Y"

Fuente: M Excel [Captura de pantalla]

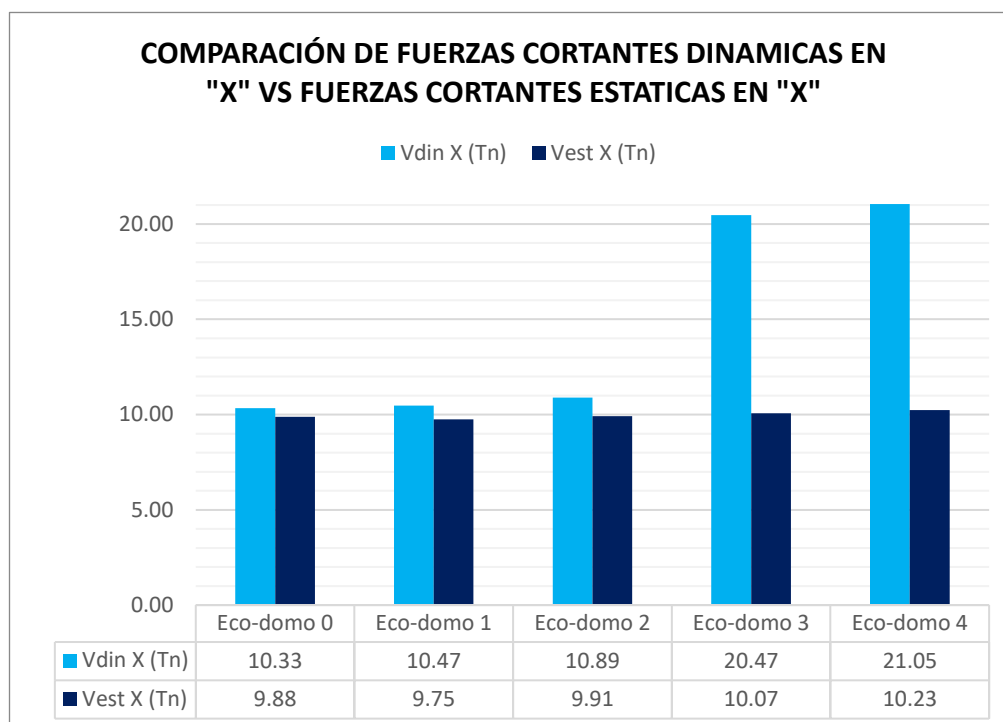


Gráfico 18: Comparación de fuerzas cortantes dinámicas en "X" vs fuerzas cortantes estáticas en "X"

Fuente: M Excel [Captura de pantalla]

Para esta investigación, donde consideramos a nuestra estructura como una edificación irregular en altura teniendo irregularidad geométrica vertical, las fuerzas cortantes dinámicas no tendrán que ser menor que el 90% de la fuerza cortante estática. Al comparar las fuerzas cortantes dinámicas y las fuerzas cortantes estáticas, como se muestran en el gráfico 17 y gráfico 18, se puede observar que las cortantes dinámicas en todos los casos son mayores que las cortantes estáticas, por tal motivo no se tendrá un factor escala para el análisis sísmico dinámico de los Eco-domos pues se determina que para todos los casos de modelación de Eco-domos con vanos y sin vanos, cumplen con lo estipulado por la norma E-030 Artículo 4.6.4. de fuerzas cortantes mínimas, por lo que se puede concluir que los resultados obtenidos por el análisis dinámico modal espectral son representativos y que se puede hacer un análisis sísmico de su comportamiento.

4.1.2. Análisis de desplazamientos

Se generó el análisis dinámico modal espectral con un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones en dirección "X" y en dirección "Y", para el Eco-domo 0 (sin adicionar vanos) y se obtuvieron sus desplazamientos generados en sus cuatro cuadrantes, como lo muestran en la gráfica 1 y gráfica 2. De las gráficas mencionadas se pudo apreciar que se generan mayores desplazamientos en los cuadrantes perpendiculares a la dirección en que se aplicaba el sismo, es decir en el cuadrante uno y cuadrante tres cuando se aplicaba el sismo en dirección en "X" (ver figura 54), y cuadrante dos y cuadrante cuatro cuando se aplica el sismo en dirección en "Y" (ver figura 55).

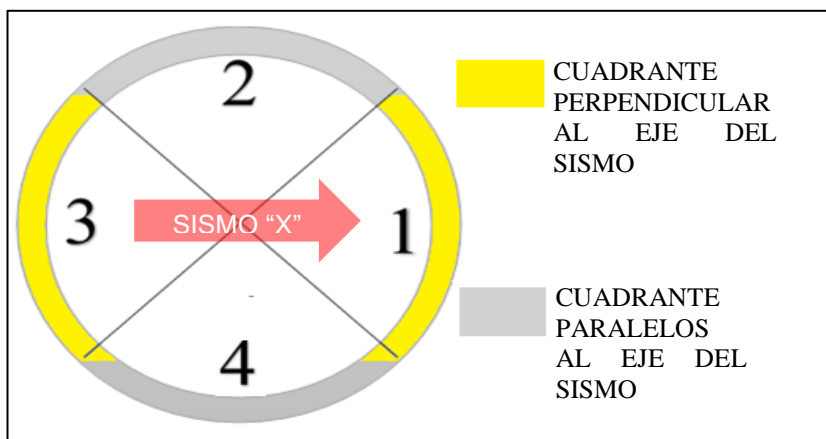


Figura 54: Cuadrantes perpendiculares y paralelos a la dirección de sismo "X"

Fuente: Elaboración propia

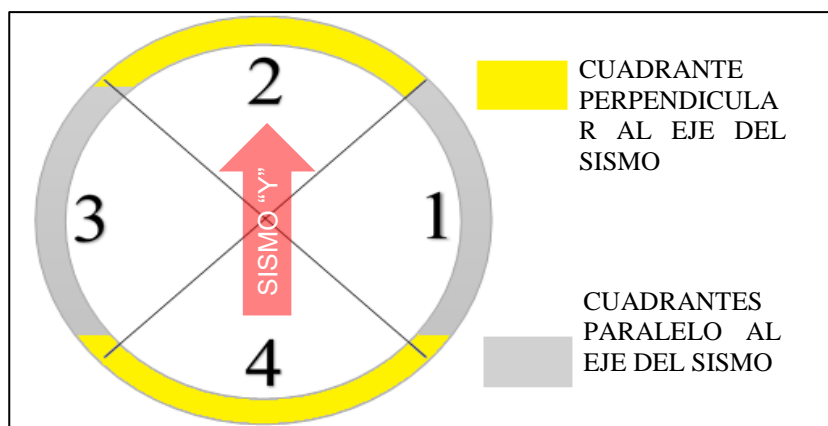


Figura 55: Cuadrantes perpendiculares y paralelos a la dirección de sismo "Y"

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en los cuadrantes que se encuentran paralelos a la dirección del sismo se generan los menores desplazamientos, es decir en el cuadrante dos y cuadrante cuatro, cuando se aplica sismo en dirección “X” y cuadrante uno y cuadrante tres, cuando se aplica sismo en dirección “Y”. De los cuadrantes paralelos a la dirección del sismo, mediante Grafica 3 se pudo determinar que en los cuadrantes paralelos a la dirección del sismo estos llegan a reducir los desplazamientos hasta en un 50% respecto de los desplazamientos generados en los cuadrantes perpendiculares a la dirección del sismo. Vale aclarar que la mayor diferencia de desplazamientos se genera en las primeras hiladas, después conforme se llega a la coronación del eco-domo, estos desplazamientos tienden a ser iguales, desapareciendo gradualmente el porcentaje de diferencia de desplazamientos entre cuadrantes.

De esta manera se logró determinar las secciones del eco-domo que generan mayor rigidez al momento de un sismo, siendo las secciones del cuadrante 1 y cuadrante 3, los que aportan mayor rigidez en el eje “Y”. Por otro lado, la sección del eco-domo dentro del cuadrante 2 y cuadrante 4 son los que aportan mayor rigidez en el eje “X”.

Del análisis de los desplazamientos generados en el Eco-domo 0, se puede determinar que, para análisis de desplazamientos, los cuadrantes que se encuentren perpendiculares a la dirección del sismo tendrán similares desplazamientos, siempre y cuando estos cuadrantes no se vean afectados por discontinuidades en su superficie. De la misma manera los cuadrantes que se encuentren paralelos a la dirección del sismo tendrán similares desplazamientos, siempre y cuando estos cuadrantes no se vean afectados por discontinuidades en su superficie

A partir de los resultados mostrados en la gráfica 12 (grafica de porcentaje de variación de desplazamientos "X" con respecto al Eco-domo 0) y grafica 13 (grafica de porcentaje de variación de desplazamientos "Y" con respecto al Eco-domo 0) se pudo notar que:

Para el eco-domo 1, en donde se genera un vano en el cuadrante 4, para considerar una puerta de 0.90m de ancho por 1.80m de alto, esta estructura pierde bastante rigidez en el eje "X", esto se debe a que se le quita rigidez a la estructura desde su base, por generar discontinuidades en las hiladas dentro del cuadrante cuatro, cuadrante que aporta rigidez en el eje "X", en consecuencia, de ello se puede apreciar que se generan mayores desplazamientos en "X" de hasta 61.29% más con respecto al eco-domo 0 (eco-domo sin vanos).

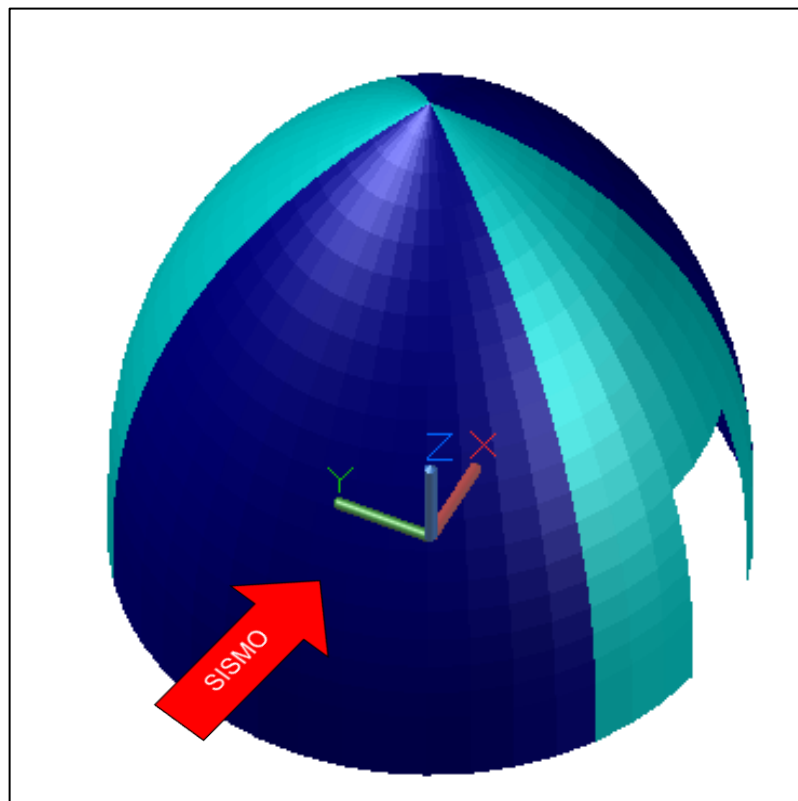


Figura 56: Eco-domo 1, con sismo en "X", muros que aportan rigidez en "X" de color celeste, muros que aportan rigidez en "Y" color azul

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados mostrados en la gráfica 12 (grafica de porcentaje de variación de desplazamientos "X" con respecto al Eco-domo 0) y grafica 13 (grafica de porcentaje de variación de desplazamientos "Y" con respecto al Eco-domo 0) se pudo notar que:

Para el eco-domo 2, en donde se genera dos vanos, en el cuadrante 4 una puerta (puerta de 0.90m de ancho por 1.80m de alto) y en el cuadrante 3 una ventana (ventana de 0.50m de ancho y alto con un alfeizar de 1.34m). se pudo notar que la abertura de una ventana en el cuadrante 3 aporta en la pérdida de rigidez en el eje "X" de la estructura, generando un aumento de hasta en 105.24% de desplazamientos en "X" con respecto al eco-domo 0.

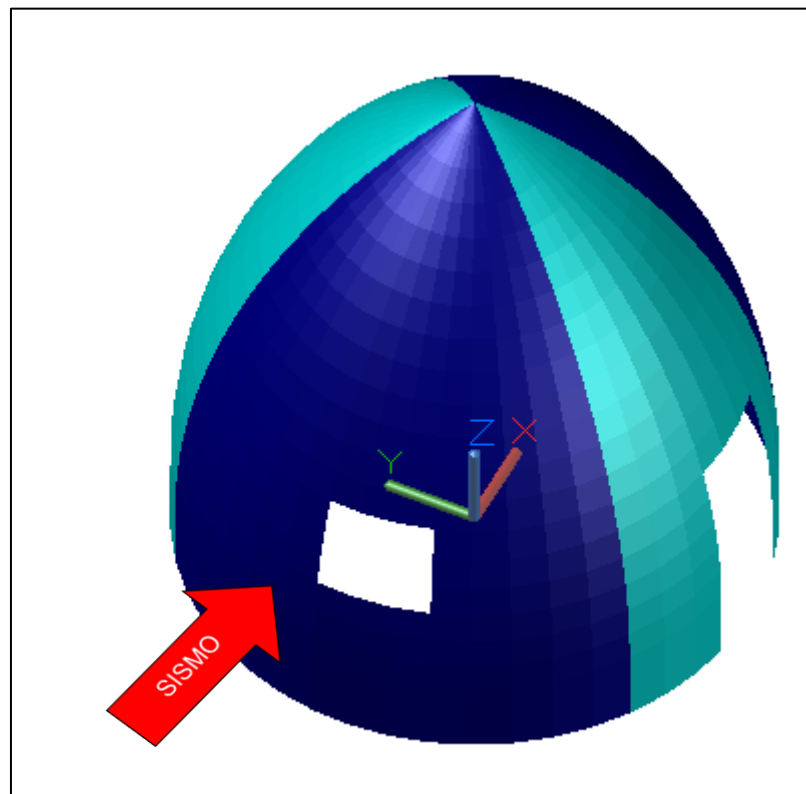


Figura 57: Eco-domo 2, con sismo en "X", muros que aportan rigidez en "X" de color celeste, muros que aportan rigidez en "Y" color azul

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la rigidez en el eje “Y” notamos que no genera disminución de su rigidez al adicionarle una ventana, por el contrario notamos sus desplazamientos disminuyen. La abertura de la puerta es la que tiene mayor impacto en este fenómeno, pues desde el punto de vista de los desplazamientos, estos al estar ligados a la rigidez de la estructura y a la altura donde se encuentra el mayor porcentaje de masas, podemos inferir que, al disminuir la masas por generar una puerta, al momento de un sismo en dirección perpendicular a la puerta este no encuentra una masa que mover, y como ya habíamos discutido líneas más arriba que los desplazamientos se reducen en los cuadrantes paralelos a la dirección del sismo, por consiguiente las hiladas que bordean del marco de la puerta se encuentra más cerca a estos cuadrantes paralelos al sismo por el cual estos desplazamiento disminuyen.

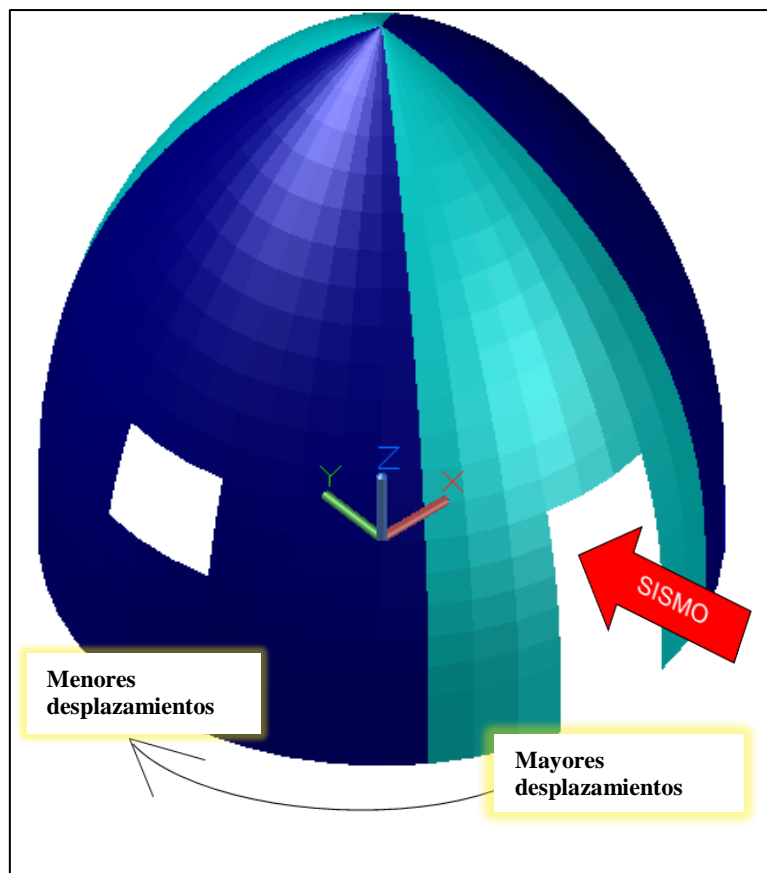


Figura 58: Eco-domo 2, sismo “Y”, muros que aportan rigidez en “X” de color celeste, muros que aportan rigidez en “Y” color azul

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados mostrados en la gráfica 12 (grafica de porcentaje de variación de desplazamientos “X” con respecto al Eco-domo 0) y grafica 13(grafica de porcentaje de variación de desplazamientos “Y” con respecto al Eco-domo 0) se pudo notar que:

Para el eco-domo 3, en donde se genera tres vanos, en el cuadrante 4 una puerta (puerta de 0.90m de ancho por 1.80m de alto) y en el cuadrante 3 y cuadrante 1 una ventana para cada cuadrante (ventana de 0.50m de ancho y alto, con un alfeizar de 1.34m). Esta estructura aumenta su pérdida de rigidez en el eje “X” generando un aumento de hasta en 158.86% de desplazamientos en “X” con respecto al eco-domo 0. Por otro lado, la rigidez en el eje “Y” notamos que genera una reducción al adicionarle una ventana a su cuadrante 3 y una ventana a su cuadrante 1 (cuadrantes que aportan mayor rigidez en dirección “Y”), en consecuencia, sus desplazamientos se incrementan en hasta un 93.42% con respecto a los desplazamientos generados en el eco-domo 0 (eco-domo sin vanos).

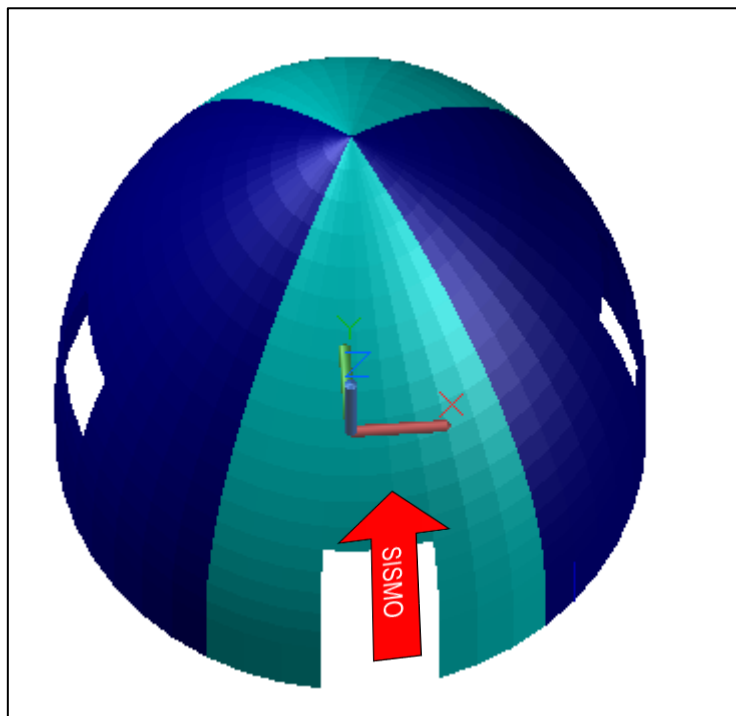


Figura 59: Eco-domo 3, sismo “Y”, muros que aportan rigidez en "X" de color celeste, muros que aportan rigidez en “Y” color azul

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados mostrados en la gráfica 12 (grafica de porcentaje de variación de desplazamientos “X” con respecto al Eco-domo 0) y grafica 13 (grafica de porcentaje de variación de desplazamientos “Y” con respecto al Eco-domo 0) se pudo notar que:

Para el eco-domo 4, en donde se genera cuatro vanos, en el cuadrante 4 una puerta (puerta de 0.90m de ancho por 1.80m de alto) y para el cuadrante 1, cuadrante 2 y cuadrante 3 una ventana para cada uno de ellos (ventana de 0.50m de ancho y alto, con un alfeizar de 1.34m). Esta estructura aumenta su pérdida de rigidez en el eje “X” generando un aumento de hasta en 163.69% de desplazamientos en “X” con respecto al eco-domo 0. De la misma manera, la rigidez en el eje “Y” notamos que genera una reducción de su rigidez al adicionarle una ventana a su cuadrante 3, una ventana a su cuadrante 2 y una ventana a su cuadrante 1, en consecuencia, sus desplazamientos se incrementan en hasta un 100.10% con respecto a los desplazamientos generados en el eco-domo 0 (eco-domo sin vanos).

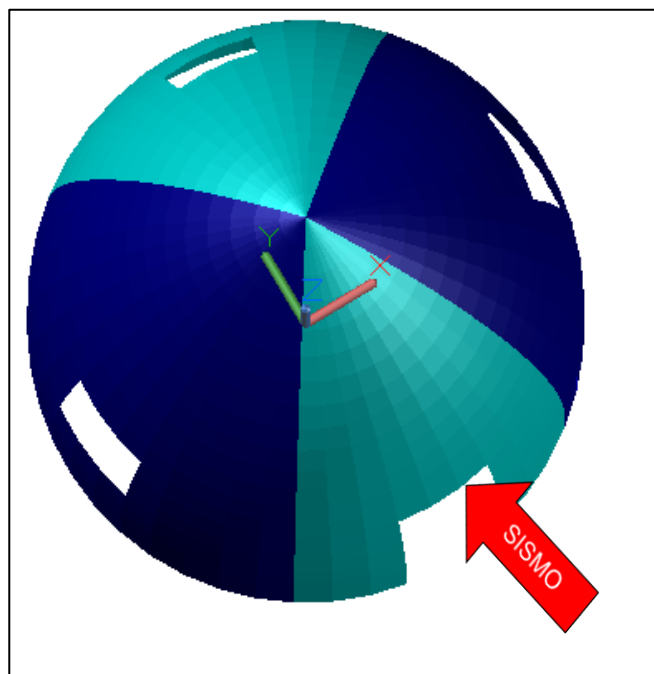


Figura 60: Eco-domo 4, sismo “Y”, muros que aportan rigidez en "X" de color celeste, muros que aportan rigidez en “Y” color azul

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados generados para los Eco-domos considerando vanos en su superficie se pudo notar que los desplazamientos aumentan en mayor porcentaje en el cuadrante en donde se abre vanos desde la base de la estructura. Por otro lado, se logró observar que, al generar vanos para ventanas, el mayor porcentaje de aumento de desplazamientos se da genera cuando se considera una ventana en cada uno de los cuadrantes paralelos a la dirección del sismo.

De los máximos desplazamientos observados, en los resultados del análisis dinámico modal espectral, mostrados desde la tabla 18 hasta la tabla 22, se pudo determinar que los mayores desplazamientos generados con la aceleración espectral en dirección “X” se generan en la coronación de los eco-domos, teniendo como valores de máximos de desplazamientos para el eco-domo 0 de 60.83mm, para el eco-domo 1 desplazamientos de 59.79mm, para el eco-domo 2 desplazamientos de 69.66mm, para el eco-domo 3 desplazamientos de 83.21mm, para el eco-domo 4 desplazamientos de 81.92mm. De la misma manera, los mayores desplazamientos generados con la aceleración espectral de diseño en dirección “Y” se generan en la coronación de los Eco-domos, teniendo como valores de máximos desplazamientos para el eco-domo 0 de 60.98mm, para el eco-domo 1 desplazamientos de 46.38mm, para el eco-domo 2 desplazamientos de 45.51mm, para el eco-domo 3 desplazamientos de 80.27mm, para el eco-domo 4 desplazamientos de 71.98mm.

Los resultados de Alcántara (2019) este obtuvo que el máximo desplazamiento presentado en el Eco-domo de ancho de muro de 0.40 m y de diámetro de 4.00 m fue de 31.32 mm presentado en la hilada 26 (coronación del domo) y el mínimo fue de 1.02mm presentada en la primera hilada.

Por otro lado, Canadell (2014) en sus resultados por el método de elementos finitos se obtiene 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 desplazamiento mínimo es de 0.05 mm, correspondiente a los elementos de la primera hilada.

Tomando en referencia los dos autores citados y sus resultados obtenidos, notamos la concordancia al establecer que las tendencias de los desplazamientos son crecientes desde la base hasta llegar a la coronación, encontrando consecuentemente, los mayores desplazamientos generados en la coronación de los eco-domos. Por otro lado, no se comparte la idea de asegurar que los desplazamientos a lo largo de los ejes perimetrales del domo sean constantes, pues en esta investigación en que se dividió el Eco-domo en cuatro cuadrantes y se generó el análisis para cada uno de los cuadrantes, se pudo notar que existen mayores desplazamientos en los cuadrantes que se encuentran perpendiculares a la dirección del sismo en comparación con los cuadrantes que se encuentran paralelos a la dirección del sismo.

Por otro lado, en la investigación realizada por Alcántara (2019) se pudo notar que los resultados mostrados para casos de desplazamientos se obtuvieron, sin considerar multiplicar por el factor de reducción sísmica R a los resultados de desplazamientos como lo estipula la norma E-030 Art.5.1.(2019). Al hacer la magnificación de datos, para compararlos con nuestros resultados podemos notar que sus desplazamientos son mayores a los que se generan en nuestros análisis teniendo desplazamientos de 93.96mm (31.32×3 , $R=3$) en la coronación y de 2.295mm (1.02×3 , $R=3$) en la primera hilada.

Se pudo determinar que los máximos desplazamientos de la presente investigación resultaron ser menores que los desplazamientos encontrados por Alcántara (2019) y Canadell (2014) infiriendo como posible causa de dicho fenómeno, que en nuestra modelación se consideró módulos de elasticidad diferentes a los utilizados por Alcántara, quien utilizó un módulo de elasticidad de 6.62MPa para toda la superficie del domo, mientras que para esta investigación se utilizó tres módulos de elasticidad diferentes al momento de modelar los eco-domo, considerando: 10MPa para la cobertura del eco-domo (hiladas de Earth-bag con alambre), 15MPa para contrafuertes de la base (Earth-bag en la base estabilizadas con cemento al 5%) y 50MPa para contrafuertes de ventana y puertas (Earth-bag tipo arco estabilizada con cemento al 5%), además otra consideración que se creyó conveniente considerar fue el aporte del ancho de los contrafuertes en las primeras hiladas, considerando el doble del ancho normal de las hiladas es decir contrafuertes de ancho de 0.80m.

4.1.3. Análisis de distorsiones

Para el análisis de los resultados de distorsiones relativas para cada modelación de eco-domo nos apoyaremos en la norma E-030 (2019) artículo 5.2 en la cual nos establece que, la relación de los desplazamientos relativos de entre piso entre la altura de entre-piso para estructuras de material predominante de albañilería no deberá exceder 0.005.

En esta investigación se presentaron los resultados desplazamientos y distorsiones corregidos por irregularidad de rigidez. Al hacer un primer análisis se pudo determinar que en el eco-domo 3, al generarle tres vanos en su superficie, este presentaba irregularidad por rigidez extrema (**ver anexo 7, tabla 41 y 42**), por tal motivo se pasó a modificar el coeficiente de reducción sísmica que en principio se consideró como $R=2.70$, teniendo como nuevos parámetros:

$$R = I_a * I_p * R$$

R: 3 (Por ser una estructura atípica de albañilería reforzada) ver anexo 10

Ia: 0.50 (se considera una irregularidad extrema de rigidez) ver anexo 7

I_p: 1.00 (no se considera una irregularidad en planta)

$$R = 3 * 0.50 * 1 = 1.50$$

Este nuevo factor de amplificación sísmica se aplicó para el eco-domo 3 pues al evaluarlo en sus distorsiones este presentaba mayores distorsiones relativas que 1.6, de la misma manera ocurre con el eco-domo 4, pues al generarle un vano más, este amplifica en mayor magnitud su irregularidad por rigidez.

Para una mejor interpretación de los resultados con respecto a máximas distorsiones relativas, el Eco-domo se dividió en cuatro secciones en elevación, analizando las máximas distorsiones relativas de la hilada 1 a la hilada 4 (1era sección), de la hilada 5 a la hilada 8 (2da sección), de la hilada 9 a la hilada 17 (3ra sección) y de la hilada 18 a la hilada 21 (4ta sección). Los resultados se muestran en el gráfico 14 y gráfico 15.

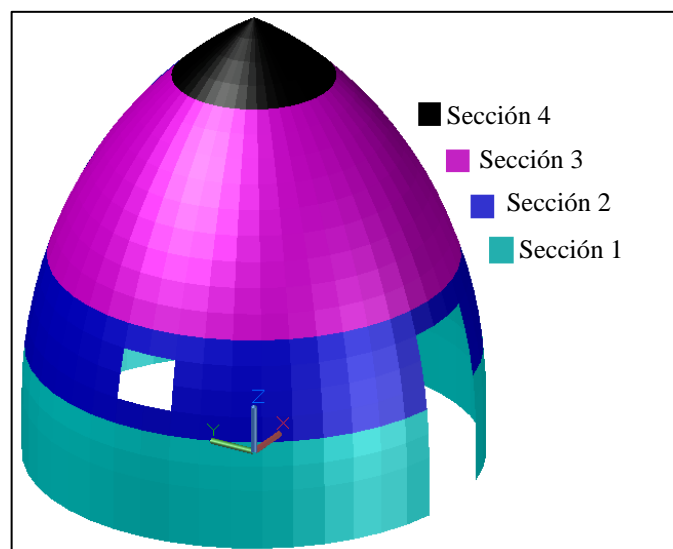


Figura 61: Eco-domo dividido en cuatro secciones, sección 1 (hilada 1 a 4), sección 2 (hilada 5 a 8), sección 3 (hilada 9 a la 17) y sección 4 (hilada 18 a la 21)

Fuente: Elaboración propia

Se pudo notar que para todos los casos analizados de los eco-domos con vanos y sin vanos en su superficie, en la 4ta sección de los Eco-domos (de la hilada 18 hasta la hilada 21), estos cumplen con las distorsiones máximas estipuladas por la norma E-030 es decir, sus distorsiones relativas son menores que 0.005. Por otro lado, se determinó que las mayores distorsiones relativas para todos los casos de los eco-domos, con vanos y sin vanos, estas se generaron la primera sección de los Eco-domos (de la hilada 1 hasta la hilada 4)

Del gráfico 14 y del gráfico 15, en donde se muestra las máximas distorsiones relativas en “X” y en “Y”, se pudo notar que, si en los cuadrantes perpendiculares al eje de aplicación del sismo, a las hiladas se les genera más de dos discontinuidades por la abertura de vanos, estas modifican su comportamiento al momento de desplazarse unas con otras, generando en ellas un movimiento más homogéneo y por ende reduciendo sus derivas relativas en dichas hiladas.

Este fenómeno se puede apreciar para el caso de aplicar una aceleración espectral en dirección “X” en los eco-domos 3 y eco-domo 4 respectivamente, pues al tener vanos en sus cuadrantes uno y cuadrante tres, las distorsiones en ambos eco-domos disminuyen respecto a las distorsiones de los eco-domos que no tienen vanos en su superficie o tienen vanos en los cuadrantes paralelos a la dirección del sismo (cuadrante dos y cuadrante cuatro).

Por otro lado, para el caso de aplicar una aceleración espectral en “Y” este fenómeno se puede apreciar en el Eco-domo 4, pues al tener vanos en su cuadrante tres y cuadrante cuatro, las distorsiones relativas disminuyen respecto a las distorsiones de los eco-

domos que no tienen vanos en su superficie o tienen vanos en los cuadrantes paralelos a la dirección del sismo (cuadrante uno y cuadrante tres).

La reducción de distorsiones relativas, solo se da en ciertas secciones del eco-domo, como se notó para el caso en las hiladas en las que se generaron los vanos, suele ser un factor determinante en el comportamiento de la estructura pues esta tiende a generar una irregularidad por rigidez, y según lo estipulado por el RNE E-030 Art. 3.6 (2019) esta irregularidad será evaluado para determinar en qué tipo de zonas y tipo de edificaciones esta permitidas.

Para esta investigación se determinó que en el eco-domo 3 y eco-domo 4, en donde se generaron tres y cuatro vanos respectivamente, los eco-domos presentaron en su estructura una irregularidad de rigidez extrema por tener distorsiones de entrepiso mayores que 1.4 veces los correspondientes valores en los entrepisos inmediatos superiores (ver anexo 8, tabla de la 49 a la 52)

Para casos de irregularidad por rigidez extrema, el RNE en la E-030 art.3.7.1 (2019) nos establece que para casos de irregularidad extrema, este tipo de irregularidades no se permitirá para edificaciones de uso de viviendas que estén dentro de la zona sísmica 3, por lo que podemos concluir que en los eco-domos 3 y eco-domo 4, al ser contextualizados en el distrito de La Encañada, Cajamarca, estos tendrán que tener en cuenta no solo reducir sus distorsiones máximas hasta entrar dentro del rango máximo de 0.005, sino que también se tendrá que evaluar que no se generen irregularidad extrema de rigidez por la presencia de vanos en su superficie.

Se logra observar que al ir agregando vanos a la superficie del eco-domo los desplazamientos en las hiladas en que se generan discontinuidades disminuyen, y por ende también sus distorsiones. Sin embargo, cuando se realiza el análisis del impacto a manera global en los Eco-domos, se puede observar que las distorsiones relativas en los Ecos-domos no se ven afectadas en grandes proporciones o de manera significativa (esta conclusión será evaluada con la prueba de hipótesis).

De las secciones del Eco-domo que no cumplen con las distorsiones relativas máximas por lo estipulado en el RNE E-030 (2019), se puede optar por aumentar su rigidez, generando en ellas un mayor módulo de elasticidad.

4.1.4. Análisis de la prueba de hipótesis

Los datos obtenidos para los indicadores de distorsiones en “X” y distorsiones en “Y”, de las modelaciones de las viviendas modelos eco-domo arco ojival apuntado, bajo la adición de vanos en su superficie, fueron evaluadas mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la distribución de normalidad en dichos resultados teniendo un nivel de significancia al 5% para estos indicadores. Los resultados de la prueba de normalidad se muestran en la tabla 23: “Resultados de pruebas de normalidad bajo la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov”, se puede apreciar que las significancias de los datos de todos los indicadores no superan el valor de 0.05, por lo cual se puede determinar que para la prueba de normalidad rechazaremos la hipótesis nula y aceptaremos la hipótesis alterna, lo cual nos quiere decir que nuestros datos de distorsiones relativas en “X” y distorsiones relativas en “Y” no cumple con una

distribución normal, por lo cual se realizara la prueba de validación de hipótesis de esta investigación con pruebas no paramétricas.

Para la validación de hipótesis de la presente investigación se realizó la prueba no paramétrica de análisis de varianza bajo la prueba estadística de ANOVA de una vía de Kruskal-Wallis, mostrándose los resultados en la tabla 24 “Resultados de la prueba de análisis de varianza bajo la prueba estadística de ANOVA de una vía de Kruskal-Wallis” en la cual se puede observar que los valores de significancia superan el valor de 0.05 tanto para el indicador de distorsiones relativas en “X” como para el indicador de distorsiones relativas en “Y”, lo que significa que a una significancia del 95% se puede determinar que no existe diferencia significativa entre las medias de las distorsiones relativas cuando se agrega uno, dos, tres, y cuatro vanos a la superficie del eco-domo.

En consecuencia, de la prueba de análisis de varianza aceptaremos la hipótesis nula y rechazaremos la hipótesis alterna, concluyendo que la adición de vanos no tiene una influencia significativa en las distorsiones sísmicas de una vivienda modelo Eco-domo arco ojival apuntado en el distrito de La Encañada, Cajamarca.

4.2. Conclusiones

- Se logró determinar que el número de vanos no influye significativamente en las distorsiones sísmicas de una vivienda modelo eco-domos arco ojival apuntado, en el distrito La Encañada, Cajamarca. Para determinar dicha influencia, se tomó como indicador las distorsiones relativas en “X” y distorsiones relativas en “Y”. Estas conclusiones son respaldadas por las pruebas estadísticas realizadas a los resultados obtenidos. En donde la prueba estadística de ANOVA de una vía de Kruskal-Wallis, determina que no existe una diferencia significativa entre las medias de los resultados para distorsiones relativas en “X” y distorsiones relativas en “Y”.
- Se logró caracterizar, modelar y analizar el comportamiento de las viviendas modelo eco-domo arco ojival apuntado, teniendo como herramientas de apoyo para este fin los programas AutoCAD 2D y 3D, donde se diseñó y determino la altura del eco-domo siendo este valor de 4.52m. Por otro lado, también se determinó las dimensiones que tendrían los vanos, cuyas dimensiones fueron de 0.50m (ancho) x 0.50m (alto) para el caso de las ventanas, y de 0.90m (ancho) x 1.80m (alto) para el caso de la puerta.
- Con el software Etabs, se logró realizar el modelado y análisis sísmico dinámico modal espectral. Se concluyó que, los eco-domos por tener su concentración de masas en la parte inferior de la estructura, periodos altos no le afectan, ya que mueven menor porcentaje de masas en comparación cuando se generan movimientos con menores periodos de vibrar.
- Se determinó que en el eco-domo 3 y eco-domo 4, en donde se generaron tres y cuatro vanos respectivamente, los eco-domos presentaron en su estructura una irregularidad de rigidez extrema por tener distorsiones de entrepiso mayores que 1.4 veces los

correspondientes valores en los entresijos inmediatos superiores. Este fenómeno se presenta a una altura de 1.30m aproximadamente medidos desde la base

- Se logró determinar para todos los casos de eco-domos con vanos y sin vanos en su superficie, estos cumplen con las distorsiones máximas estipuladas por la norma E-030 a partir de los 4.09m hasta su coronación a una altura de 4.52m (es decir desde la hilada 18 hasta la hilada 21), pues sus distorsiones relativas son menores que 0.005. Por otro lado, se determinó que las mayores distorsiones relativas para todos los casos de los eco-domos, con vanos y sin vanos, se generan en la base del eco-domo hasta una altura de 1.30m aproximadamente
- Se logró analizar los comportamientos de los eco-domos caracterizados en base a sus indicadores, lográndose determinar que para los indicadores de distorsión relativa en “X” y distorsión relativa en “Y” no existe influencia significativa a nivel global del Eco-domo. Pues la adición de vanos solo afecta en mayor proporción a las hiladas en las que se realiza las discontinuidades por la abertura de vanos.

4.3.Recomendaciones

La investigación realizada en la presente tesis genera un importante avance en el estado del conocimiento sobre el comportamiento de eco-domos bajo la técnica de Earth-bag, pese a ellos existen varios aspectos no abarcados en la presente investigación que podrían ser profundizados en el futuro. A continuación, se comentan las posibles líneas de investigación derivadas del presente trabajo.

- Se recomienda a los profesionales avocados a las carreras de ingeniería civil e ingeniería de materiales, enfocarse en investigaciones que busquen ampliar el conocimiento acerca de cómo mejorar de las propiedades físico-mecánicas de los

Earth-bag (material del que esta echo los eco-domos), así como también generar ensayos en el laboratorio a una escala real en paredes curvas y sobretodo en cúpulas.

- Se recomienda a los profesionales de la carrera de ingeniería civil enfocarse en investigaciones que ayuden a determinar el comportamiento estructural de viviendas modelo Eco-domo bajo la influencia de tipo de cimentaciones.
- Realizar el análisis sísmico de viviendas tipo eco-domo bajo la influencia de grandes aberturas en su superficie, así también, analizar cuál es el impacto que genera utilizar diferentes módulos de elasticidad del Earth-bag.

REFERENCIAS

- Alcántara , J. (2019). *“Diseño y comportamiento estructural de una casa modelo eco-domo”*.
Cajamarca - Perú.
- Barnet, Y., & Jabrane, F. (2015). *"Eco-domo, un hábitat para reducir la vulnerabilidad frente
al friaje en el Perú"*. Lima - Perú.
- Barrera , R. (2012). *“Análisis paramétrico del comportamiento sísmico de domos de concreto
armado de gran luz”*. Lima - Perú.
- Callaghan, B. (2008). *"Earthbag housing: structural behaviour and applicability in developing
countries"*. Kingston, Ontario, Canada.
- Canadell, S. (2014). *“Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula
y superadobe”*. Barcelona - España.
- California Institute of Earth Architecture. (20 de Abril de 2019). *Acerca de CalEarth*. Obtenido
de <https://www.calearth.org>
- Ciudad, M. (2011). "Manual de SuperAdobe".
- Croft, C. (2011). *"Structural Resistance of Earthbag Housing Subject to Horizontal Loading"*.
Bath - Inglaterra.
- Domoterra. (19 de 04 de 2019). *Domoterra*. Obtenido de <http://www.domoterra.es>
- Huerta, S. (2004). *"Arcos, bóvedas y cúpulas Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional
de estructuras de fábrica"*. Madrid, España.
- Hunter, K., & Kiffmeyer, D. (2004). *“Earthbag Building”*. Gabriola Island - British Columbia
- Canada: New Society Publishers.
- Khalili, N. (2011). *“Refugio de emergencia con sacos de tierra y eco-aldea: cómo construir el
tuyo propio con superadobe”*. (I. Outram , Ed., & R. Natal, Trad.) California - Estados

Unidos: Cal-Earth Press. Obtenido de <https://www.amazon.com/Refugio-Emergencia-Sacos-Tierra-eco-aldea-ebook/dp/B00YB0VVG2>

León, M. (2019). *"Diseño de un adobe sismorresistente con propiedades fotocataizadoras en la Encañada - Cajamarca"*. Trujillo.

Norma E-080 (2019). *"Adobe-Cálculo de las fuerzas sísmicas horizontales"*. Perú.

Norma E-030 (2019). *"Diseño sismo resistente"*. Perú.

Pelly, R. (2009). *"Plastic Limit Analysis of Earthbag Structures"*. Bath - Inglaterra.

Prato, C., Ceballos, M., & Pinto, F. (2015). *"Catedra de análisis estructural - Método Modal Espectral"*. Córdoba .

Real Academia Española. (2001). *"Diccionario de la lengua española"* (22° edición ed.). Madrid, España.

Rodríguez, S. (2017). *"Numerical simulation strategies for superadobe walls and arches"*. Barcelona - España.

Trigo, T. (2015). *"Estudio del comportamiento estructural de construcciones de tierra: La técnica constructiva Earthbag"*. Barcelona - Cataluña.

Vadgama, N. (2010). A Material and Structural Analysis of EarthBag Housing.

Vermiglio, P. (2017). *"Comparación de la resistencia a compresión uniaxial en unidades de adobe tradicional, adobe compactado y superadobe, cajamarca 2017"*. Cajamarca - Perú.

ANEXOS

ANEXO N° 1: Matriz para la evaluación de experto al instrumento de recolección de datos

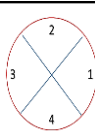
Tabla 25:

Matriz para evaluación de experto

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:				
Línea de investigación:				
Apellidos y nombres del experto:				
El instrumento de medición pertenece a la variable:				
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?			
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?			
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?			
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?			
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?			
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?			
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?			
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?			
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?			
Sugerencias:				
Firma del experto:				

ANEXO N° 2: Instrumento de recolección de datos

Tabla 26:
Ficha de recolección de datos

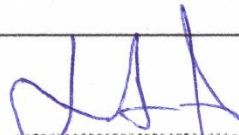
HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:							
NOMBRE ECO-DOMO		ANCHO DE MURO:				N° DE FICHA:	
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:		ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:					
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:		DIMENSIONES:		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:		DIMENSIONES:		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 3: Matriz de evaluación de instrumento firmada por experto

Tabla 27:

Matriz de evaluación de instrumento validada por experto

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	Influencia del número de vanos en las distorsiones sísmicas en viviendas modelo eco-domo arco ojival apuntado, en el distrito La Encañada, Cajamarca 2019			
Línea de investigación:	Innovación y sostenibilidad			
Apellidos y nombres del experto:	Ayala Ayo Ricardo Daniel			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Distorsiones			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
Firma del experto:				
		Ricardo D. Ayala Ayo ING. CIVIL R. CIP. 97900		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 4: Ficha de recolección de datos validada y firmada por experto.

*Tabla 28:
Ficha de hoja de ficha de datos validada*

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR: _____							
NOMBRE ECO-DOMO		ANCHO DE MURO:				N° DE FICHA:	
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:		ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:					
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:		DIMENSIONES:		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:		DIMENSIONES:		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		

Firma de experto, validado el instrumento a utilizar en la recolección de datos:

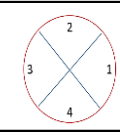
Ricardo D. Avalos Alayo
 ING. CIVIL
 MSc. Ing. Ricardo Daniel Avalos Alayo

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 5: Fichas de recolección de datos.

Tabla 29:

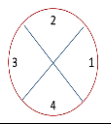
Hoja de ficha de datos N°1, Eco-domo 0 distorsiones relativas en "X"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 0	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 1		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	0	DIMENSIONES:	0	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	0	DIMENSIONES:	0	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS "X"
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	60.825	60.825	60.825	60.825	60.825	0.0031
20	4.39	60.404	60.327	60.412	60.327	60.412	0.0036
19	4.24	59.869	59.482	59.892	59.482	59.892	0.0043
18	4.09	59.17	58.272	59.213	58.272	59.213	0.0052
17	3.92	58.285	56.695	58.348	56.695	58.348	0.0061
16	3.75	57.19	54.757	57.274	54.757	57.274	0.0071
15	3.56	55.863	52.471	55.966	52.471	55.966	0.0081
14	3.37	54.282	49.852	54.402	49.852	54.402	0.0091
13	3.17	52.426	46.92	52.562	46.92	52.562	0.0102
12	2.96	50.275	43.695	50.425	43.695	50.425	0.0114
11	2.74	47.809	40.2	47.968	40.2	47.968	0.0126
10	2.52	45.001	36.46	45.167	36.46	45.167	0.0140
9	2.29	41.815	32.502	41.986	32.502	41.986	0.0155
8	2.06	38.21	28.356	38.385	28.356	38.385	0.0172
7	1.82	34.147	24.056	34.325	24.056	34.325	0.0189
6	1.58	29.608	19.64	29.794	19.64	29.794	0.0204
5	1.34	24.637	15.154	24.839	15.154	24.839	0.0213
4	1.09	19.386	10.638	19.617	10.638	19.617	0.0209
3	0.85	14.186	6.244	14.46	6.244	14.46	0.0177
2	0.60	9.825	4.43	10.092	4.43	10.092	0.0170
1	0.30	4.913	2.196	5	2.196	5	0.0167

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30:

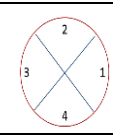
Hoja de ficha de datos N°2, Eco-domo 0 distorsiones relativas en "Y"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 0	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 2		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	0	DIMENSIONES:	0	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	0	DIMENSIONES:	0	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS "Y"
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	60.979	60.979	60.979	60.979	60.979	0.0032
20	4.39	60.468	60.554	60.478	60.554	60.554	0.0037
19	4.24	59.605	60.018	59.63	60.018	60.018	0.0045
18	4.09	58.374	59.32	58.415	59.32	59.32	0.0053
17	3.92	56.773	58.436	56.831	58.436	58.436	0.0062
16	3.75	54.81	57.343	54.886	57.343	57.343	0.0072
15	3.56	52.496	56.017	52.589	56.017	56.017	0.0082
14	3.37	49.848	54.437	49.958	54.437	54.437	0.0092
13	3.17	46.886	52.583	47.012	52.582	52.583	0.0103
12	2.96	43.63	50.433	43.773	50.433	50.433	0.0114
11	2.74	40.104	47.965	40.263	47.965	47.965	0.0127
10	2.52	36.333	45.154	36.508	45.154	45.154	0.0140
9	2.29	32.346	41.965	32.536	41.964	41.965	0.0155
8	2.06	28.171	38.356	28.375	38.356	38.356	0.0172
7	1.82	23.847	34.29	24.062	34.29	34.29	0.0189
6	1.58	19.408	29.753	19.635	29.753	29.753	0.0204
5	1.34	14.917	24.794	15.141	24.794	24.794	0.0213
4	1.09	10.388	19.571	10.618	19.571	19.571	0.0209
3	0.85	6.027	14.414	6.218	14.414	14.414	0.0176
2	0.60	4.148	10.06	4.412	10.06	10.06	0.0169
1	0.30	2.074	4.984	2.187	4.984	4.984	0.0166

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31:

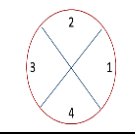
Hoja de ficha de datos N°3, Eco-domo 1 distorsiones relativas en "X"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 1	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 3		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	0	DIMENSIONES:	0	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	59.702	59.70	59.702	59.702	59.702	0.0029
20	4.39	59.279	59.31	59.273	59.093	59.309	0.0038
19	4.24	58.749	58.60	58.736	58.112	58.749	0.0044
18	4.09	58.065	57.53	58.044	56.759	58.065	0.0052
17	3.92	57.208	56.09	57.177	55.033	57.208	0.0060
16	3.75	56.156	54.28	56.115	52.942	56.156	0.0069
15	3.56	54.888	52.11	54.836	50.498	54.888	0.0078
14	3.37	53.381	49.59	53.32	47.716	53.381	0.0088
13	3.17	51.615	46.74	51.545	44.615	51.615	0.0098
12	2.96	49.566	43.59	49.491	41.226	49.566	0.0109
11	2.74	47.21	40.15	47.135	37.576	47.21	0.0121
10	2.52	44.517	36.45	44.448	33.737	44.517	0.0135
9	2.29	41.447	32.52	41.392	29.771	41.447	0.0150
8	2.06	37.953	28.40	37.922	25.561	37.953	0.0167
7	1.82	33.99	24.10	33.993	23.833	33.993	0.0184
6	1.58	29.54	19.69	29.582	19.196	29.582	0.0200
5	1.34	24.647	15.20	24.727	15.856	24.727	0.0210
4	1.09	19.471	10.67	19.578	12.641	19.578	0.0208
3	0.85	14.348	6.26	14.454	10.071	14.454	0.0176
2	0.60	10.015	4.44	10.095	6.531	10.095	0.0170
1	0.30	4.961	2.20	5.004	3.283	5.004	0.0167

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32:

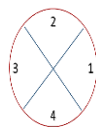
Hoja de ficha de datos N°4, Eco-domo 1 distorsiones relativas en "Y"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:	JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE						
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 1	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 4		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	0	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	0	DIMENSIONES:	0	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	46.38	46.38	46.38	46.38	46.38	0.0015
20	4.39	46.244	46.588	46.269	46.101	46.588	0.0025
19	4.24	45.791	46.952	45.861	45.495	46.952	0.0023
18	4.09	45.012	47.308	45.138	44.598	47.308	0.0014
17	3.92	43.909	47.533	44.096	43.421	47.533	0.0004
16	3.75	42.491	47.607	42.74	41.943	47.607	0.0011
15	3.56	40.772	47.402	41.08	40.116	47.402	0.0027
14	3.37	38.77	46.885	39.129	37.871	46.885	0.0043
13	3.17	36.507	46.012	36.906	35.127	46.012	0.0060
12	2.96	34.004	44.751	34.43	31.823	44.751	0.0078
11	2.74	31.283	43.077	31.721	27.944	43.077	0.0095
10	2.52	28.368	40.968	28.8	23.626	40.968	0.0113
9	2.29	25.279	38.397	25.691	19.161	38.397	0.0132
8	2.06	22.041	35.332	22.416	15.5	35.332	0.0152
7	1.82	18.68	31.743	19.006	15.085	31.743	0.0171
6	1.58	15.226	27.628	15.493	13.678	27.628	0.0189
5	1.34	11.718	23.046	11.92	12.603	23.046	0.0199
4	1.09	8.188	18.177	8.327	11.475	18.177	0.0195
3	0.85	4.749	13.378	4.837	10.582	13.378	0.0163
2	0.60	3.359	9.344	3.423	8.141	9.344	0.0131
1	0.30	1.661	4.633	1.693	5.417	5.417	0.0181

Fuente: Elaboración propia

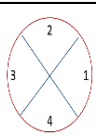
Tabla 33:

Hoja de ficha de datos N°5, Eco-domo 2 distorsiones relativas en "X"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 2	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 5		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
		LOCALIZACIÓN DEL VANO					
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	1	DIMENSIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	69.664	69.664	69.664	69.664	69.664	0.0000
20	4.39	69.659	69.503	69.302	69.27	69.659	0.0002
19	4.24	69.689	68.963	68.656	68.456	69.689	0.0006
18	4.09	69.599	67.979	67.722	67.181	69.599	0.0018
17	3.92	69.299	66.535	66.479	65.443	69.299	0.0033
16	3.75	68.722	64.63	64.879	63.247	68.722	0.0049
15	3.56	67.81	62.272	62.841	60.605	67.81	0.0067
14	3.37	66.517	59.478	60.264	57.533	66.517	0.0085
13	3.17	64.806	56.269	57.039	54.05	64.806	0.0104
12	2.96	62.641	52.669	53.093	50.182	62.641	0.0123
11	2.74	59.993	48.703	48.428	45.954	59.993	0.0143
10	2.52	56.824	44.398	43.231	41.436	56.824	0.0164
9	2.29	53.091	39.782	37.926	36.69	53.091	0.0187
8	2.06	48.738	34.887	33.736	31.536	48.738	0.0212
7	1.82	43.719	29.749	33.009	29.232	43.719	0.0237
6	1.58	38.02	24.413	31.84	23.676	38.02	0.0259
5	1.34	31.719	18.934	30.755	19.784	31.719	0.0064
4	1.09	25.042	13.36	30.161	15.926	30.161	0.0270
3	0.85	18.447	7.879	23.508	12.815	23.508	0.0284
2	0.60	12.879	5.619	16.488	8.407	16.488	0.0277
1	0.30	6.382	2.802	8.181	4.271	8.181	0.0273

Fuente: Elaboración propia

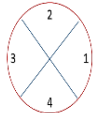
Tabla 34:
Hoja de ficha de datos N°6, Eco-domo 2 distorsiones relativas en "Y"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 2	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 6		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	1	DIMENSIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	45.511	45.511	45.511	45.511	45.511	0.0013
20	4.39	45.519	45.689	45.263	45.278	45.689	0.0022
19	4.24	45.23	46.003	44.726	44.734	46.003	0.0019
18	4.09	44.613	46.294	43.852	43.912	46.294	0.0010
17	3.92	43.663	46.468	42.641	42.815	46.468	0.0001
16	3.75	42.385	46.451	41.098	41.419	46.451	0.0015
15	3.56	40.787	46.182	39.239	39.671	46.182	0.0029
14	3.37	38.888	45.613	37.081	37.5	45.613	0.0045
13	3.17	36.706	44.706	34.648	34.824	44.706	0.0061
12	2.96	34.265	43.435	31.962	31.581	43.435	0.0077
11	2.74	31.586	41.778	29.038	27.758	41.778	0.0093
10	2.52	28.694	39.716	25.896	23.492	39.716	0.0110
9	2.29	25.612	37.223	22.572	19.074	37.223	0.0127
8	2.06	22.363	34.266	18.779	15.449	34.266	0.0146
7	1.82	18.977	30.809	17.044	15.011	30.809	0.0165
6	1.58	15.486	26.842	13.82	13.557	26.842	0.0182
5	1.34	11.93	22.415	11.197	12.431	22.415	0.0192
4	1.09	8.342	17.697	10.239	11.331	17.697	0.0189
3	0.85	4.84	13.031	5.579	10.463	13.031	0.0159
2	0.60	3.426	9.103	3.78	8.067	9.103	0.0124
1	0.30	1.696	4.514	1.821	5.385	5.385	0.0180

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35:

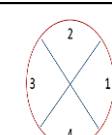
Hoja de ficha de datos N°7, Eco-domo 3 distorsiones relativas en "X"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 3	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 7		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENCIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	2	DIMENCIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	83.206	83.206	83.206	83.206	83.206	0.0016
20	4.39	83.371	83.424	83.374	82.94	83.424	0.0002
19	4.24	83.397	83.189	83.389	82.056	83.397	0.0016
18	4.09	83.142	82.399	83.113	80.586	83.142	0.0038
17	3.92	82.505	81.028	82.443	78.546	82.505	0.0065
16	3.75	81.367	79.066	81.263	75.951	81.367	0.0096
15	3.56	79.585	76.519	79.433	72.824	79.585	0.0133
14	3.37	77.003	73.403	76.799	69.186	77.003	0.0176
13	3.17	73.461	69.741	73.21	65.065	73.461	0.0220
12	2.96	68.855	65.556	68.565	60.502	68.855	0.0263
11	2.74	63.186	60.877	62.875	55.531	63.186	0.0292
10	2.52	56.708	55.731	56.394	50.25	56.708	0.0288
9	2.29	49.986	50.148	49.688	44.744	50.148	0.0237
8	2.06	44.642	44.162	44.352	38.894	44.642	0.0050
7	1.82	43.465	37.813	42.633	36.468	43.465	0.0053
6	1.58	42.182	31.156	41.821	29.786	42.182	0.0059
5	1.34	40.737	24.26	40.421	24.867	40.737	0.0048
4	1.09	39.458	17.189	39.563	20.054	39.563	0.0352
3	0.85	30.508	10.189	30.89	16.163	30.89	0.0372
2	0.60	21.33	7.298	21.684	10.621	21.684	0.0364
1	0.30	10.574	3.657	10.766	5.397	10.766	0.0359

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36:

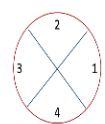
Hoja de ficha de datos N°8, Eco-domo 3 distorsiones relativas en "Y"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 3	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 8		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	2	DIMENSIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	80.27	80.27	80.27	80.27	80.27	0.0017
20	4.39	79.979	80.502	80.069	79.745	80.502	0.0029
19	4.24	79.116	80.922	79.382	78.695	80.922	0.0022
18	4.09	77.621	81.268	78.092	77.168	81.268	0.0007
17	3.92	75.496	81.387	76.184	75.172	81.387	0.0013
16	3.75	72.751	81.162	73.655	72.664	81.162	0.0036
15	3.56	69.421	80.503	70.527	69.554	80.503	0.0060
14	3.37	65.542	79.337	66.827	65.718	79.337	0.0086
13	3.17	61.165	77.611	62.595	61.017	77.611	0.0111
12	2.96	56.338	75.287	57.871	55.347	75.287	0.0137
11	2.74	51.097	72.334	52.681	48.695	72.334	0.0163
10	2.52	45.482	68.721	47.062	41.3	68.721	0.0190
9	2.29	39.564	64.4	41.085	33.679	64.4	0.0219
8	2.06	32.792	59.308	34.241	27.409	59.308	0.0251
7	1.82	28.885	53.373	30.002	26.731	53.373	0.0284
6	1.58	24.617	46.562	25.263	24.246	46.562	0.0313
5	1.34	20.443	38.944	20.494	22.345	38.944	0.0332
4	1.09	17.224	30.796	18.741	20.351	30.796	0.0328
3	0.85	9.685	22.704	10.219	18.777	22.704	0.0277
2	0.60	6.7	15.863	6.928	14.461	15.863	0.0207
1	0.30	3.236	7.867	3.339	9.64	9.64	0.0321

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37:

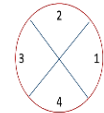
Hoja de ficha de datos N°9, Eco-domo 4 distorsiones relativas en "X"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:	JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE						
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 4	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA:		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	3	DIMENSIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	81.92	81.92	81.92	81.92	81.92	0.0005
20	4.39	81.99	81.782	81.966	81.893	81.985	0.0006
19	4.24	81.89	81.135	81.787	81.282	81.893	0.0025
18	4.09	81.51	79.906	81.276	80.086	81.509	0.0047
17	3.92	80.74	78.077	80.363	78.305	80.735	0.0072
16	3.75	79.46	75.64	78.959	75.944	79.463	0.0103
15	3.56	77.56	72.607	76.948	73.018	77.56	0.0138
14	3.37	74.89	68.993	74.204	69.544	74.887	0.0178
13	3.17	71.30	64.826	70.602	65.548	71.302	0.0219
12	2.96	66.72	60.138	66.065	61.07	66.724	0.0257
11	2.74	61.17	54.961	60.622	56.146	61.171	0.0282
10	2.52	54.91	49.356	54.52	50.876	54.908	0.0282
9	2.29	48.49	43.45	48.288	45.352	48.492	0.0217
8	2.06	43.44	37.047	43.339	39.463	43.441	0.0034
7	1.82	42.34	34.284	42.634	37.025	42.634	0.0063
6	1.58	40.94	28.548	41.124	30.277	41.124	0.0056
5	1.34	39.60	23.979	39.752	25.297	39.752	0.0029
4	1.09	38.59	20.224	39.052	20.416	39.052	0.0346
3	0.85	30.03	11.721	30.522	16.465	30.522	0.0368
2	0.60	21.07	8.042	21.43	10.825	21.43	0.0360
1	0.30	10.45	3.929	10.641	5.504	10.641	0.0355

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38:

Hoja de ficha de datos N°10, Eco-domo 4 distorsiones relativas en "Y"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 4	ANCHO DE MURO:	0.40 m		N° DE FICHA: 10		
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m				
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	3	DIMENSIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	71.977	71.977	71.977	71.977	71.977	0.0028
20	4.39	71.991	72.349	72.06	72.028	72.349	0.0026
19	4.24	71.428	72.725	71.621	71.733	72.725	0.0011
18	4.09	70.266	72.9	70.633	71.027	72.9	0.0010
17	3.92	68.508	72.735	69.084	69.855	72.735	0.0037
16	3.75	66.17	72.087	66.964	68.132	72.087	0.0069
15	3.56	63.285	70.803	64.28	65.743	70.803	0.0107
14	3.37	59.887	68.73	61.039	62.551	68.73	0.0149
13	3.17	56.024	65.729	57.261	58.413	65.729	0.0191
12	2.96	51.74	61.727	52.976	53.231	61.727	0.0230
11	2.74	47.072	56.758	48.218	47	56.758	0.0255
10	2.52	42.061	51.091	43.065	39.971	51.091	0.0256
9	2.29	36.784	45.277	37.681	32.676	45.277	0.0196
8	2.06	30.855	40.728	32.149	26.658	40.728	0.0039
7	1.82	28.489	39.801	29.634	25.96	39.801	0.0050
6	1.58	23.181	38.603	24.244	23.59	38.603	0.0052
5	1.34	18.922	37.35	19.896	21.747	37.35	0.0033
4	1.09	17.525	36.55	18.133	19.813	36.55	0.0324
3	0.85	9.687	28.559	9.972	18.283	28.559	0.0343
2	0.60	6.602	20.069	6.806	14.092	20.069	0.0337
1	0.30	3.205	9.973	3.302	9.398	9.973	0.0332

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 6: Ficha de datos del eco-domo 3 sin realizar la corrección del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas por irregularidad de rigidez

Tabla 39:

Ficha de datos del eco-domo 3 sin realizar la corrección del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas por irregularidad de rigidez, distorsiones relativas en "X"

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:		JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE					
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 3	ANCHO DE MURO:	0.40 m			N° DE FICHA:	
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m			7	
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	2	DIMENSIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	46.225	46.225	46.225	46.225	46.225	-0.0009
20	4.39	46.317	46.347	46.327	46.078	46.347	0.0001
19	4.24	46.331	46.216	46.319	45.587	46.331	0.0009
18	4.09	46.19	45.777	46.174	44.77	46.19	0.0021
17	3.92	45.836	45.015	45.802	43.636	45.836	0.0036
16	3.75	45.204	43.925	45.146	42.195	45.204	0.0054
15	3.56	44.214	42.511	44.13	40.458	44.214	0.0074
14	3.37	42.779	40.78	42.666	38.437	42.779	0.0098
13	3.17	40.812	38.745	40.672	36.147	40.812	0.0122
12	2.96	38.253	36.42	38.092	33.612	38.253	0.0146
11	2.74	35.103	33.821	34.93	30.851	35.103	0.0162
10	2.52	31.505	30.962	31.33	27.917	31.505	0.0160
9	2.29	27.77	27.86	27.604	24.858	27.86	0.0132
8	2.06	24.801	24.534	24.64	21.608	24.801	0.0034
7	1.82	23.891	21.007	24.008	20.26	24.008	0.0031
6	1.58	23.19	17.309	23.254	16.548	23.254	0.0046
5	1.34	21.883	13.478	22.141	13.815	22.141	0.0007
4	1.09	21.719	9.55	21.979	11.141	21.979	0.0195
3	0.85	16.895	5.66	17.161	8.979	17.161	0.0207
2	0.60	11.852	4.054	12.047	5.9	12.047	0.0202
1	0.30	5.88	2.032	5.981	2.999	5.981	0.0199

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40:
Ficha de datos del eco-domo 3 sin realizar la corrección del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas por irregularidad de rigidez, distorsiones relativas en “Y”

HOJA FICHA DE DATOS							
OBSERVADOR:	JULIO ALEXANDER CASTILLO QUISPE						
NOMBRE ECO-DOMO	ECO-DOMO 3	ANCHO DE MURO:	0.40 m			N° DE FICHA:	
ANCHO DE CONTRAFUERTE BASE:	0.80m	ANCHO DE CONTRAFUERTE PUERTA Y VENTANA:	0.80m			8	
VARIABLE INDEPENDIENTE: NÚMERO DE VANOS							
				LOCALIZACIÓN DEL VANO			
N° DE PUERTAS:	1	DIMENSIONES:	0.90m x 1.80m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
N° DE VENTANAS:	2	DIMENSIONES:	0.50m x 0.50m	CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4
VARIABLE DEPENDIENTE: DISTORSIONES							
N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4		
21	4.52	44.594	44.594	44.594	44.594	44.594	-0.0010
20	4.39	44.433	44.723	44.483	44.303	44.723	-0.0016
19	4.24	43.953	44.957	44.101	43.72	44.957	-0.0012
18	4.09	43.123	45.149	43.385	42.871	45.149	-0.0004
17	3.92	41.942	45.215	42.324	41.762	45.215	0.0007
16	3.75	40.417	45.09	40.919	40.369	45.09	0.0020
15	3.56	38.567	44.724	39.182	38.641	44.724	0.0033
14	3.37	36.412	44.076	37.126	36.51	44.076	0.0048
13	3.17	33.98	43.117	34.775	33.898	43.117	0.0062
12	2.96	31.299	41.826	32.151	30.748	41.826	0.0076
11	2.74	28.387	40.185	29.267	27.053	40.185	0.0090
10	2.52	25.268	38.178	26.145	22.944	38.178	0.0105
9	2.29	21.98	35.778	22.825	18.711	35.778	0.0122
8	2.06	18.218	32.949	19.023	15.227	32.949	0.0139
7	1.82	16.105	29.652	17.278	14.85	29.652	0.0158
6	1.58	13.502	25.868	14.344	13.47	25.868	0.0174
5	1.34	10.332	21.636	10.655	12.414	21.636	0.0185
4	1.09	10.116	17.109	10.412	11.306	17.109	0.0182
3	0.85	5.537	12.613	5.677	10.432	12.613	0.0154
2	0.60	3.749	8.813	3.849	8.034	8.813	0.0115
1	0.30	1.808	4.371	1.855	5.356	5.356	0.0179

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 7: Tabla de evaluación irregularidad de rigidez para el eco-domo 3 sin corrección del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas

Tabla 41:

Tabla de evaluación irregularidad de rigidez para el eco-domo 3 sin corrección del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas, distorsiones en "x"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	46.225	46.225	46.225	46.225	46.225	-0.0003	-3.37
20	4.39	46.317	46.347	46.327	46.078	46.27	0.0011	2.33
19	4.24	46.331	46.216	46.319	45.587	46.11	0.0025	1.60
18	4.09	46.19	45.777	46.174	44.77	45.73	0.0039	1.38
17	3.92	45.836	45.015	45.802	43.636	45.07	0.0054	1.28
16	3.75	45.204	43.925	45.146	42.195	44.12	0.0070	1.23
15	3.56	44.214	42.511	44.13	40.458	42.83	0.0086	1.20
14	3.37	42.779	40.78	42.666	38.437	41.17	0.0103	1.16
13	3.17	40.812	38.745	40.672	36.147	39.09	0.0120	1.13
12	2.96	38.253	36.42	38.092	33.612	36.59	0.0135	1.08
11	2.74	35.103	33.821	34.93	30.851	33.68	0.0146	1.02
10	2.52	31.505	30.962	31.33	27.917	30.43	0.0150	0.90
9	2.29	27.77	27.86	27.604	24.858	27.02	0.0135	0.50
8	2.06	24.801	24.534	24.64	21.608	23.90	0.0068	1.36
7	1.82	23.891	21.007	24.008	20.26	22.29	0.0092	1.00
6	1.58	23.19	17.309	23.254	16.548	20.08	0.0092	0.76
5	1.34	21.883	13.478	22.141	13.815	17.83	0.0071	2.25
4	1.09	21.719	9.55	21.979	11.141	16.10	0.0159	0.94
3	0.85	16.895	5.66	17.161	8.979	12.17	0.0150	0.94
2	0.60	11.852	4.054	12.047	5.9	8.46	0.0141	1.00
1	0.30	5.88	2.032	5.981	2.999	4.22	0.0141	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42:

Tabla de evaluación irregularidad de rigidez para el eco-domo 3 sin corrección del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas, distorsiones en "y"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	44.594	44.594	44.594	44.594	44.59	0.0008	2.58
20	4.39	44.433	44.723	44.483	44.303	44.49	0.0021	1.70
19	4.24	43.953	44.957	44.101	43.72	44.18	0.0035	1.40
18	4.09	43.123	45.149	43.385	42.871	43.63	0.0049	1.28
17	3.92	41.942	45.215	42.324	41.762	42.81	0.0063	1.21
16	3.75	40.417	45.09	40.919	40.369	41.70	0.0077	1.18
15	3.56	38.567	44.724	39.182	38.641	40.28	0.0090	1.15
14	3.37	36.412	44.076	37.126	36.51	38.53	0.0104	1.12
13	3.17	33.98	43.117	34.775	33.898	36.44	0.0117	1.11
12	2.96	31.299	41.826	32.151	30.748	34.01	0.0129	1.08
11	2.74	28.387	40.185	29.267	27.053	31.22	0.0139	1.05
10	2.52	25.268	38.178	26.145	22.944	28.13	0.0146	1.03
9	2.29	21.98	35.778	22.825	18.711	24.82	0.0149	0.53
8	2.06	18.218	32.949	19.023	15.227	21.35	0.0080	1.40
7	1.82	16.105	29.652	17.278	14.85	19.47	0.0111	1.12
6	1.58	13.502	25.868	14.344	13.47	16.80	0.0125	0.50
5	1.34	10.332	21.636	10.655	12.414	13.76	0.0062	2.39
4	1.09	10.116	17.109	10.412	11.306	12.24	0.0149	0.67
3	0.85	5.537	12.613	5.677	10.432	8.56	0.0099	0.93
2	0.60	3.749	8.813	3.849	8.034	6.11	0.0092	1.21
1	0.30	1.808	4.371	1.855	5.356	3.35	0.0112	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 8: Tablas de evaluación de irregularidad de rigidez, con la corrección del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas por irregularidad extrema de rigidez para el caso del eco-domo 3 y eco-domo 4

Tabla 43:

Eco-domo 0, evaluación de irregularidad por rigidez en "X"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGUIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	60.825	60.825	60.825	60.825	60.83	0.0034	1.39
20	4.39	60.404	60.327	60.412	60.327	60.37	0.0047	1.29
19	4.24	59.869	59.482	59.892	59.482	59.68	0.0061	1.21
18	4.09	59.17	58.272	59.213	58.272	58.73	0.0074	1.17
17	3.92	58.285	56.695	58.348	56.695	57.51	0.0086	1.13
16	3.75	57.19	54.757	57.274	54.757	55.99	0.0097	1.11
15	3.56	55.863	52.471	55.966	52.471	54.19	0.0108	1.10
14	3.37	54.282	49.852	54.402	49.852	52.10	0.0119	1.08
13	3.17	52.426	46.92	52.562	46.92	49.71	0.0128	1.07
12	2.96	50.275	43.695	50.425	43.695	47.02	0.0138	1.07
11	2.74	47.809	40.2	47.968	40.2	44.04	0.0147	1.06
10	2.52	45.001	36.46	45.167	36.46	40.77	0.0157	1.06
9	2.29	41.815	32.502	41.986	32.502	37.20	0.0167	1.06
8	2.06	38.21	28.356	38.385	28.356	33.33	0.0177	1.05
7	1.82	34.147	24.056	34.325	24.056	29.15	0.0186	1.04
6	1.58	29.608	19.64	29.794	19.64	24.67	0.0194	1.02
5	1.34	24.637	15.154	24.839	15.154	19.95	0.0199	0.98
4	1.09	19.386	10.638	19.617	10.638	15.07	0.0194	0.64
3	0.85	14.186	6.244	14.46	6.244	10.28	0.0125	0.97
2	0.60	9.825	4.43	10.092	4.43	7.19	0.0121	0.99
1	0.30	4.913	2.196	5	2.196	3.58	0.0119	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44:
Eco-domo 0, evaluación de irregularidad por rigidez en "Y"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGUIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	60.979	60.979	60.979	60.979	60.98	0.0035	1.38
20	4.39	60.468	60.554	60.478	60.554	60.51	0.0048	1.29
19	4.24	59.605	60.018	59.63	60.018	59.82	0.0061	1.21
18	4.09	58.374	59.32	58.415	59.32	58.86	0.0074	1.16
17	3.92	56.773	58.436	56.831	58.436	57.62	0.0087	1.13
16	3.75	54.81	57.343	54.886	57.343	56.10	0.0098	1.11
15	3.56	52.496	56.017	52.589	56.017	54.28	0.0109	1.09
14	3.37	49.848	54.437	49.958	54.437	52.17	0.0119	1.08
13	3.17	46.886	52.583	47.012	52.582	49.77	0.0129	1.07
12	2.96	43.63	50.433	43.773	50.433	47.07	0.0139	1.07
11	2.74	40.104	47.965	40.263	47.965	44.07	0.0148	1.06
10	2.52	36.333	45.154	36.508	45.154	40.79	0.0158	1.06
9	2.29	32.346	41.965	32.536	41.964	37.20	0.0167	1.06
8	2.06	28.171	38.356	28.375	38.356	33.31	0.0177	1.05
7	1.82	23.847	34.29	24.062	34.29	29.12	0.0187	1.04
6	1.58	19.408	29.753	19.635	29.753	24.64	0.0194	1.02
5	1.34	14.917	24.794	15.141	24.794	19.91	0.0199	0.97
4	1.09	10.388	19.571	10.618	19.571	15.04	0.0193	0.65
3	0.85	6.027	14.414	6.218	14.414	10.27	0.0125	0.96
2	0.60	4.148	10.06	4.412	10.06	7.17	0.0120	0.98
1	0.30	2.074	4.984	2.187	4.984	3.56	0.0119	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45:

Eco-domo 1, evaluación de irregularidad por rigidez en "X"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGUIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	59.702	59.702	59.702	59.702	59.70	0.0034	1.37
20	4.39	59.279	59.309	59.273	59.093	59.24	0.0047	1.29
19	4.24	58.749	58.6	58.736	58.112	58.55	0.0061	1.21
18	4.09	58.065	57.53	58.044	56.759	57.60	0.0074	1.16
17	3.92	57.208	56.09	57.177	55.033	56.38	0.0086	1.13
16	3.75	56.156	54.279	56.115	52.942	54.87	0.0097	1.11
15	3.56	54.888	52.107	54.836	50.498	53.08	0.0108	1.09
14	3.37	53.381	49.588	53.32	47.716	51.00	0.0118	1.08
13	3.17	51.615	46.74	51.545	44.615	48.63	0.0127	1.07
12	2.96	49.566	43.585	49.491	41.226	45.97	0.0137	1.06
11	2.74	47.21	40.146	47.135	37.576	43.02	0.0145	1.06
10	2.52	44.517	36.449	44.448	33.737	39.79	0.0154	1.07
9	2.29	41.447	32.522	41.392	29.771	36.28	0.0165	0.89
8	2.06	37.953	28.395	37.922	25.561	32.46	0.0147	1.27
7	1.82	33.99	24.104	33.993	23.833	28.98	0.0186	0.97
6	1.58	29.54	19.689	29.582	19.196	24.50	0.0181	1.02
5	1.34	24.647	15.198	24.727	15.856	20.11	0.0184	0.95
4	1.09	19.471	10.669	19.578	12.641	15.59	0.0175	0.81
3	0.85	14.348	6.256	14.454	10.071	11.28	0.0142	0.92
2	0.60	10.015	4.441	10.095	6.531	7.77	0.0130	0.99
1	0.30	4.961	2.203	5.004	3.283	3.86	0.0129	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46:

Eco-domo 1, evaluación de irregularidad por rigidez en "Y"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGUIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	46.38	46.38	46.38	46.38	46.38	0.0006	3.21
20	4.39	46.244	46.588	46.269	46.101	46.30	0.0019	1.73
19	4.24	45.791	46.952	45.861	45.495	46.02	0.0033	1.42
18	4.09	45.012	47.308	45.138	44.598	45.51	0.0047	1.28
17	3.92	43.909	47.533	44.096	43.421	44.74	0.0059	1.23
16	3.75	42.491	47.607	42.74	41.943	43.70	0.0073	1.19
15	3.56	40.772	47.402	41.08	40.116	42.34	0.0087	1.16
14	3.37	38.77	46.885	39.129	37.871	40.66	0.0101	1.14
13	3.17	36.507	46.012	36.906	35.127	38.64	0.0114	1.11
12	2.96	34.004	44.751	34.43	31.823	36.25	0.0127	1.09
11	2.74	31.283	43.077	31.721	27.944	33.51	0.0138	1.05
10	2.52	28.368	40.968	28.8	23.626	30.44	0.0145	0.98
9	2.29	25.279	38.397	25.691	19.161	27.13	0.0142	0.80
8	2.06	22.041	35.332	22.416	15.5	23.82	0.0114	1.14
7	1.82	18.68	31.743	19.006	15.085	21.13	0.0130	1.01
6	1.58	15.226	27.628	15.493	13.678	18.01	0.0131	1.02
5	1.34	11.718	23.046	11.92	12.603	14.82	0.0134	0.96
4	1.09	8.188	18.177	8.327	11.475	11.54	0.0128	0.73
3	0.85	4.749	13.378	4.837	10.582	8.39	0.0094	0.97
2	0.60	3.359	9.344	3.423	8.141	6.07	0.0091	1.23
1	0.30	1.661	4.633	1.693	5.417	3.35	0.0112	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47:

Eco-domo 2, evaluación de irregularidad por rigidez en "X"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	69.664	69.664	69.664	69.664	69.66	0.0017	1.98
20	4.39	69.659	69.503	69.302	69.27	69.43	0.0034	1.55
19	4.24	69.689	68.963	68.656	68.456	68.94	0.0053	1.35
18	4.09	69.599	67.979	67.722	67.181	68.12	0.0071	1.26
17	3.92	69.299	66.535	66.479	65.443	66.94	0.0089	1.20
16	3.75	68.722	64.63	64.879	63.247	65.37	0.0107	1.17
15	3.56	67.81	62.272	62.841	60.605	63.38	0.0126	1.15
14	3.37	66.517	59.478	60.264	57.533	60.95	0.0144	1.13
13	3.17	64.806	56.269	57.039	54.05	58.04	0.0162	1.11
12	2.96	62.641	52.669	53.093	50.182	54.65	0.0180	1.08
11	2.74	59.993	48.703	48.428	45.954	50.77	0.0194	1.04
10	2.52	56.824	44.398	43.231	41.436	46.47	0.0202	0.99
9	2.29	53.091	39.782	37.926	36.69	41.87	0.0200	0.70
8	2.06	48.738	34.887	33.736	31.536	37.22	0.0139	1.33
7	1.82	43.719	29.749	33.009	29.232	33.93	0.0185	0.93
6	1.58	38.02	24.413	31.84	23.676	29.49	0.0172	0.99
5	1.34	31.719	18.934	30.755	19.784	25.30	0.0170	1.30
4	1.09	25.042	13.36	30.161	15.926	21.12	0.0221	0.88
3	0.85	18.447	7.879	23.508	12.815	15.66	0.0195	0.93
2	0.60	12.879	5.619	16.488	8.407	10.85	0.0181	0.99
1	0.30	6.382	2.802	8.181	4.271	5.41	0.0180	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48:
Eco-domo 2, evaluación de irregularidad por rigidez en "Y"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	45.511	45.511	45.511	45.511	45.51	0.0005	3.31
20	4.39	45.519	45.689	45.263	45.278	45.44	0.0018	1.79
19	4.24	45.23	46.003	44.726	44.734	45.17	0.0032	1.43
18	4.09	44.613	46.294	43.852	43.912	44.67	0.0046	1.30
17	3.92	43.663	46.468	42.641	42.815	43.90	0.0060	1.23
16	3.75	42.385	46.451	41.098	41.419	42.84	0.0074	1.19
15	3.56	40.787	46.182	39.239	39.671	41.47	0.0088	1.16
14	3.37	38.888	45.613	37.081	37.5	39.77	0.0102	1.13
13	3.17	36.706	44.706	34.648	34.824	37.72	0.0115	1.11
12	2.96	34.265	43.435	31.962	31.581	35.31	0.0128	1.08
11	2.74	31.586	41.778	29.038	27.758	32.54	0.0139	1.05
10	2.52	28.694	39.716	25.896	23.492	29.45	0.0146	1.00
9	2.29	25.612	37.223	22.572	19.074	26.12	0.0147	0.65
8	2.06	22.363	34.266	18.779	15.449	22.71	0.0095	1.33
7	1.82	18.977	30.809	17.044	15.011	20.46	0.0126	0.96
6	1.58	15.486	26.842	13.82	13.557	17.43	0.0121	0.88
5	1.34	11.93	22.415	11.197	12.431	14.49	0.0106	1.31
4	1.09	8.342	17.697	10.239	11.331	11.90	0.0139	0.69
3	0.85	4.84	13.031	5.579	10.463	8.48	0.0096	0.95
2	0.60	3.426	9.103	3.78	8.067	6.09	0.0091	1.22
1	0.30	1.696	4.514	1.821	5.385	3.35	0.0112	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49:

Eco-domo 3, evaluación de irregularidad por rigidez en "X"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	83.206	83.206	83.206	83.206	83.21	-0.0005	-3.50
20	4.39	83.371	83.424	83.374	82.94	83.28	0.0018	2.42
19	4.24	83.397	83.189	83.389	82.056	83.01	0.0045	1.59
18	4.09	83.142	82.399	83.113	80.586	82.31	0.0071	1.38
17	3.92	82.505	81.028	82.443	78.546	81.13	0.0098	1.28
16	3.75	81.367	79.066	81.263	75.951	79.41	0.0125	1.23
15	3.56	79.585	76.519	79.433	72.824	77.09	0.0155	1.20
14	3.37	77.003	73.403	76.799	69.186	74.10	0.0185	1.16
13	3.17	73.461	69.741	73.21	65.065	70.37	0.0215	1.13
12	2.96	68.855	65.556	68.565	60.502	65.87	0.0243	1.08
11	2.74	63.186	60.877	62.875	55.531	60.62	0.0263	1.02
10	2.52	56.708	55.731	56.394	50.25	54.77	0.0269	0.90
9	2.29	49.986	50.148	49.688	44.744	48.64	0.0242	0.51
8	2.06	44.642	44.162	44.352	38.894	43.01	0.0123	1.30
7	1.82	43.465	37.813	42.633	36.468	40.09	0.0161	0.94
6	1.58	42.182	31.156	41.821	29.786	36.24	0.0151	0.95
5	1.34	40.737	24.26	40.421	24.867	32.57	0.0143	2.02
4	1.09	39.458	17.189	39.563	20.054	29.07	0.0289	0.94
3	0.85	30.508	10.189	30.89	16.163	21.94	0.0271	0.94
2	0.60	21.33	7.298	21.684	10.621	15.23	0.0254	1.00
1	0.30	10.574	3.657	10.766	5.397	7.60	0.0253	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Eco-domo 3, evaluación de irregularidad por rigidez en "Y"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	80.27	80.27	80.27	80.27	80.27	0.0015	2.57
20	4.39	79.979	80.502	80.069	79.745	80.07	0.0037	1.70
19	4.24	79.116	80.922	79.382	78.695	79.53	0.0063	1.40
18	4.09	77.621	81.268	78.092	77.168	78.54	0.0089	1.28
17	3.92	75.496	81.387	76.184	75.172	77.06	0.0114	1.21
16	3.75	72.751	81.162	73.655	72.664	75.06	0.0138	1.18
15	3.56	69.421	80.503	70.527	69.554	72.50	0.0163	1.15
14	3.37	65.542	79.337	66.827	65.718	69.36	0.0187	1.12
13	3.17	61.165	77.611	62.595	61.017	65.60	0.0210	1.11
12	2.96	56.338	75.287	57.871	55.347	61.21	0.0232	1.08
11	2.74	51.097	72.334	52.681	48.695	56.20	0.0250	1.05
10	2.52	45.482	68.721	47.062	41.3	50.64	0.0262	1.03
9	2.29	39.564	64.4	41.085	33.679	44.68	0.0269	0.58
8	2.06	32.792	59.308	34.241	27.409	38.44	0.0156	1.22
7	1.82	28.885	53.373	30.002	26.731	34.75	0.0190	1.00
6	1.58	24.617	46.562	25.263	24.246	30.17	0.0190	0.81
5	1.34	20.443	38.944	20.494	22.345	25.56	0.0154	1.69
4	1.09	17.224	30.796	18.741	20.351	21.78	0.0261	0.68
3	0.85	9.685	22.704	10.219	18.777	15.35	0.0176	0.94
2	0.60	6.7	15.863	6.928	14.461	10.99	0.0166	1.21
1	0.30	3.236	7.867	3.339	9.64	6.02	0.0201	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51:
Eco-domo 4, evaluación de irregularidad por rigidez en "X"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS X (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	81.92	81.92	81.92	81.92	81.92	0.0001	26.18
20	4.39	81.99	81.78	81.97	81.89	81.91	0.0026	2.03
19	4.24	81.89	81.14	81.79	81.28	81.52	0.0053	1.50
18	4.09	81.51	79.91	81.28	80.09	80.69	0.0080	1.33
17	3.92	80.74	78.08	80.36	78.31	79.37	0.0106	1.26
16	3.75	79.46	75.64	78.96	75.94	77.50	0.0133	1.21
15	3.56	77.56	72.61	76.95	73.02	75.03	0.0162	1.18
14	3.37	74.89	68.99	74.20	69.54	71.91	0.0190	1.15
13	3.17	71.30	64.83	70.60	65.55	68.07	0.0219	1.12
12	2.96	66.72	60.14	66.07	61.07	63.50	0.0244	1.07
11	2.74	61.17	54.96	60.62	56.15	58.23	0.0262	1.01
10	2.52	54.91	49.36	54.52	50.88	52.42	0.0265	0.91
9	2.29	48.49	43.45	48.29	45.35	46.40	0.0240	0.31
8	2.06	43.44	37.05	43.34	39.46	40.82	0.0074	2.16
7	1.82	42.34	34.28	42.63	37.03	39.07	0.0160	0.79
6	1.58	40.94	28.55	41.12	30.28	35.22	0.0126	0.84
5	1.34	39.60	23.98	39.75	25.30	32.16	0.0105	2.84
4	1.09	38.59	20.22	39.05	20.42	29.57	0.0300	0.92
3	0.85	30.03	11.72	30.52	16.47	22.18	0.0277	0.93
2	0.60	21.07	8.04	21.43	10.83	15.34	0.0257	0.99
1	0.30	10.45	3.93	10.64	5.50	7.63	0.0254	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52:
Eco-domo 4, evaluación de irregularidad por rigidez en "Y"

N° DE HILADA	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTOS Y (mm)				PROMEDIO DE DESPLAZAMIENTOS	DISTORSIONES RELATIVAS	IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ
		CUADRANTE 1	CUADRANTE 2	CUADRANTE 3	CUADRANTE 4			
21	4.52	71.977	71.977	71.977	71.977	71.98	-0.0010	-1.64
20	4.39	71.991	72.349	72.06	72.028	72.11	0.0016	2.72
19	4.24	71.428	72.725	71.621	71.733	71.88	0.0043	1.63
18	4.09	70.266	72.9	70.633	71.027	71.21	0.0070	1.39
17	3.92	68.508	72.735	69.084	69.855	70.05	0.0097	1.29
16	3.75	66.17	72.087	66.964	68.132	68.34	0.0125	1.23
15	3.56	63.285	70.803	64.28	65.743	66.03	0.0154	1.19
14	3.37	59.887	68.73	61.039	62.551	63.05	0.0183	1.16
13	3.17	56.024	65.729	57.261	58.413	59.36	0.0212	1.13
12	2.96	51.74	61.727	52.976	53.231	54.92	0.0239	1.08
11	2.74	47.072	56.758	48.218	47	49.76	0.0257	1.01
10	2.52	42.061	51.091	43.065	39.971	44.05	0.0261	0.91
9	2.29	36.784	45.277	37.681	32.676	38.10	0.0237	0.29
8	2.06	30.855	40.728	32.149	26.658	32.60	0.0069	2.16
7	1.82	28.489	39.801	29.634	25.96	30.97	0.0148	0.81
6	1.58	23.181	38.603	24.244	23.59	27.40	0.0120	0.50
5	1.34	18.922	37.35	19.896	21.747	24.48	0.0060	4.30
4	1.09	17.525	36.55	18.133	19.813	23.01	0.0259	0.74
3	0.85	9.687	28.559	9.972	18.283	16.63	0.0191	0.94
2	0.60	6.602	20.069	6.806	14.092	11.89	0.0181	1.19
1	0.30	3.205	9.973	3.302	9.398	6.47	0.0216	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 9: Tablas comparativas de porcentaje de variación de desplazamientos respecto del eco-domo 0

Tabla 53:

Porcentaje de variación de desplazamientos "X" en el primer cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamiento: Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx
21	4.52	60.83	59.70	-1.85%	69.66	14.53%	83.21	36.80%	81.92	34.68%
20	4.39	60.40	59.28	-1.86%	69.66	15.32%	83.37	38.02%	81.99	35.73%
19	4.24	59.87	58.75	-1.87%	69.69	16.40%	83.40	39.30%	81.89	36.79%
18	4.09	59.17	58.07	-1.87%	69.60	17.63%	83.14	40.51%	81.51	37.75%
17	3.92	58.29	57.21	-1.85%	69.30	18.90%	82.51	41.55%	80.74	38.52%
16	3.75	57.19	56.16	-1.81%	68.72	20.16%	81.37	42.27%	79.46	38.95%
15	3.56	55.86	54.89	-1.75%	67.81	21.39%	79.59	42.46%	77.56	38.84%
14	3.37	54.28	53.38	-1.66%	66.52	22.54%	77.00	41.86%	74.89	37.96%
13	3.17	52.43	51.62	-1.55%	64.81	23.61%	73.46	40.12%	71.30	36.01%
12	2.96	50.28	49.57	-1.41%	62.64	24.60%	68.86	36.96%	66.72	32.72%
11	2.74	47.81	47.21	-1.25%	59.99	25.48%	63.19	32.16%	61.17	27.95%
10	2.52	45.00	44.52	-1.08%	56.82	26.27%	56.71	26.01%	54.91	22.02%
9	2.29	41.82	41.45	-0.88%	53.09	26.97%	49.99	19.54%	48.49	15.97%
8	2.06	38.21	37.95	-0.67%	48.74	27.55%	44.64	16.83%	43.44	13.69%
7	1.82	34.15	33.99	-0.46%	43.72	28.03%	43.47	27.29%	42.34	23.98%
6	1.58	29.61	29.54	-0.23%	38.02	28.41%	42.18	42.47%	40.94	38.26%
5	1.34	24.64	24.65	0.04%	31.72	28.75%	40.74	65.35%	39.60	60.71%
4	1.09	19.39	19.47	0.44%	25.04	29.18%	39.46	103.54%	38.59	99.06%
3	0.85	14.19	14.35	1.14%	18.45	30.04%	30.51	115.06%	30.03	111.68%
2	0.60	9.83	10.02	1.93%	12.88	31.08%	21.33	117.10%	21.07	114.42%
1	0.30	4.91	4.96	0.98%	6.38	29.90%	10.57	115.22%	10.45	112.74%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
PRIMER CUADRANTE	1.93%	31.08%	117.10%	114.42%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54:

Porcentaje de variación de desplazamientos "X" en el segundo cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamientos Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx
21	4.52	60.83	59.70	-1.85%	69.66	14.53%	83.21	36.80%	81.92	34.68%
20	4.39	60.33	59.31	-1.69%	69.50	15.21%	83.42	38.29%	81.78	35.56%
19	4.24	59.48	58.60	-1.48%	68.96	15.94%	83.19	39.86%	81.14	36.40%
18	4.09	58.27	57.53	-1.27%	67.98	16.66%	82.40	41.40%	79.91	37.13%
17	3.92	56.70	56.09	-1.07%	66.54	17.36%	81.03	42.92%	78.08	37.71%
16	3.75	54.76	54.28	-0.87%	64.63	18.03%	79.07	44.39%	75.64	38.14%
15	3.56	52.47	52.11	-0.69%	62.27	18.68%	76.52	45.83%	72.61	38.38%
14	3.37	49.85	49.59	-0.53%	59.48	19.31%	73.40	47.24%	68.99	38.40%
13	3.17	46.92	46.74	-0.38%	56.27	19.93%	69.74	48.64%	64.83	38.16%
12	2.96	43.70	43.59	-0.25%	52.67	20.54%	65.56	50.03%	60.14	37.63%
11	2.74	40.20	40.15	-0.13%	48.70	21.15%	60.88	51.44%	54.96	36.72%
10	2.52	36.46	36.45	-0.03%	44.40	21.77%	55.73	52.86%	49.36	35.37%
9	2.29	32.50	32.52	0.06%	39.78	22.40%	50.15	54.29%	43.45	33.68%
8	2.06	28.36	28.40	0.14%	34.89	23.03%	44.16	55.74%	37.05	30.65%
7	1.82	24.06	24.10	0.20%	29.75	23.67%	37.81	57.19%	34.28	42.52%
6	1.58	19.64	19.69	0.25%	24.41	24.30%	31.16	58.64%	28.55	45.36%
5	1.34	15.15	15.20	0.29%	18.93	24.94%	24.26	60.09%	23.98	58.24%
4	1.09	10.64	10.67	0.29%	13.36	25.59%	17.19	61.58%	20.22	90.11%
3	0.85	6.24	6.26	0.19%	7.88	26.19%	10.19	63.18%	11.72	87.72%
2	0.60	4.43	4.44	0.25%	5.62	26.84%	7.30	64.74%	8.04	81.53%
1	0.30	2.20	2.20	0.32%	2.80	27.60%	3.66	66.53%	3.93	78.92%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
SEGUNDO CUADRANTE	-1.85%	27.60%	66.53%	90.11%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55:

Porcentaje de variación de desplazamientos "X" en el tercer cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamientos Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx
21	4.52	60.83	59.70	-1.85%	69.66	14.53%	83.21	36.80%	81.92	34.68%
20	4.39	60.41	59.27	-1.89%	69.30	14.72%	83.37	38.01%	81.97	35.68%
19	4.24	59.89	58.74	-1.93%	68.66	14.63%	83.39	39.23%	81.79	36.56%
18	4.09	59.21	58.04	-1.97%	67.72	14.37%	83.11	40.36%	81.28	37.26%
17	3.92	58.35	57.18	-2.01%	66.48	13.94%	82.44	41.30%	80.36	37.73%
16	3.75	57.27	56.12	-2.02%	64.88	13.28%	81.26	41.88%	78.96	37.86%
15	3.56	55.97	54.84	-2.02%	62.84	12.28%	79.43	41.93%	76.95	37.49%
14	3.37	54.40	53.32	-1.99%	60.26	10.78%	76.80	41.17%	74.20	36.40%
13	3.17	52.56	51.55	-1.93%	57.04	8.52%	73.21	39.28%	70.60	34.32%
12	2.96	50.43	49.49	-1.85%	53.09	5.29%	68.57	35.97%	66.07	31.02%
11	2.74	47.97	47.14	-1.74%	48.43	0.96%	62.88	31.08%	60.62	26.38%
10	2.52	45.17	44.45	-1.59%	43.23	-4.29%	56.39	24.86%	54.52	20.71%
9	2.29	41.99	41.39	-1.41%	37.93	-9.67%	49.69	18.34%	48.29	15.01%
8	2.06	38.39	37.92	-1.21%	33.74	-12.11%	44.35	15.55%	43.34	12.91%
7	1.82	34.33	33.99	-0.97%	33.01	-3.83%	42.63	24.20%	42.63	24.21%
6	1.58	29.79	29.58	-0.71%	31.84	6.87%	41.82	40.37%	41.12	38.03%
5	1.34	24.84	24.73	-0.45%	30.76	23.82%	40.42	62.73%	39.75	60.04%
4	1.09	19.62	19.58	-0.20%	30.16	53.75%	39.56	101.68%	39.05	99.07%
3	0.85	14.46	14.45	-0.04%	23.51	62.57%	30.89	113.62%	30.52	111.08%
2	0.60	10.09	10.10	0.03%	16.49	63.38%	21.68	114.86%	21.43	112.35%
1	0.30	5.00	5.00	0.08%	8.18	63.62%	10.77	115.32%	10.64	112.82%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
TERCER CUADRANTE	-2.02%	63.62%	115.32%	112.82%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56:

Porcentaje de variación de desplazamientos "X" en el cuarto cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamientos Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx	Dx (mm)	%Δ Dx
21	4.52	60.83	59.70	-1.85%	69.66	14.53%	83.21	36.80%	81.92	34.68%
20	4.39	60.33	59.09	-2.05%	69.27	14.82%	82.94	37.48%	81.89	35.75%
19	4.24	59.48	58.11	-2.30%	68.46	15.09%	82.06	37.95%	81.28	36.65%
18	4.09	58.27	56.76	-2.60%	67.18	15.29%	80.59	38.29%	80.09	37.43%
17	3.92	56.70	55.03	-2.93%	65.44	15.43%	78.55	38.54%	78.31	38.12%
16	3.75	54.76	52.94	-3.31%	63.25	15.50%	75.95	38.71%	75.94	38.69%
15	3.56	52.47	50.50	-3.76%	60.61	15.50%	72.82	38.79%	73.02	39.16%
14	3.37	49.85	47.72	-4.28%	57.53	15.41%	69.19	38.78%	69.54	39.50%
13	3.17	46.92	44.62	-4.91%	54.05	15.20%	65.07	38.67%	65.55	39.70%
12	2.96	43.70	41.23	-5.65%	50.18	14.85%	60.50	38.46%	61.07	39.76%
11	2.74	40.20	37.58	-6.53%	45.95	14.31%	55.53	38.14%	56.15	39.67%
10	2.52	36.46	33.74	-7.47%	41.44	13.65%	50.25	37.82%	50.88	39.54%
9	2.29	32.50	29.77	-8.40%	36.69	12.89%	44.74	37.67%	45.35	39.54%
8	2.06	28.36	25.56	-9.86%	31.54	11.21%	38.89	37.16%	39.46	39.17%
7	1.82	24.06	23.83	-0.93%	29.23	21.52%	36.47	51.60%	37.03	53.91%
6	1.58	19.64	19.20	-2.26%	23.68	20.55%	29.79	51.66%	30.28	54.16%
5	1.34	15.15	15.86	4.63%	19.78	30.55%	24.87	64.10%	25.30	66.93%
4	1.09	10.64	12.64	18.83%	15.93	49.71%	20.05	88.51%	20.42	91.92%
3	0.85	6.24	10.07	61.29%	12.82	105.24%	16.16	158.86%	16.47	163.69%
2	0.60	4.43	6.53	47.43%	8.41	89.77%	10.62	139.75%	10.83	144.36%
1	0.30	2.20	3.28	49.50%	4.27	94.49%	5.40	145.77%	5.50	150.64%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
CUARTO CUADRANTE	61.29%	105.24%	158.86%	163.69%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57:

Porcentaje de variación de desplazamientos "Y" en el primer cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamientos Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy
21	4.52	60.979	46.38	-23.94%	45.511	-25.37%	80.27	31.64%	71.977	18.04%
20	4.39	60.468	46.244	-23.52%	45.519	-24.72%	79.979	32.27%	71.991	19.06%
19	4.24	59.605	45.791	-23.18%	45.23	-24.12%	79.116	32.73%	71.428	19.84%
18	4.09	58.374	45.012	-22.89%	44.613	-23.57%	77.621	32.97%	70.266	20.37%
17	3.92	56.773	43.909	-22.66%	43.663	-23.09%	75.496	32.98%	68.508	20.67%
16	3.75	54.81	42.491	-22.48%	42.385	-22.67%	72.751	32.73%	66.17	20.73%
15	3.56	52.496	40.772	-22.33%	40.787	-22.30%	69.421	32.24%	63.285	20.55%
14	3.37	49.848	38.77	-22.22%	38.888	-21.99%	65.542	31.48%	59.887	20.14%
13	3.17	46.886	36.507	-22.14%	36.706	-21.71%	61.165	30.45%	56.024	19.49%
12	2.96	43.63	34.004	-22.06%	34.265	-21.46%	56.338	29.13%	51.74	18.59%
11	2.74	40.104	31.283	-22.00%	31.586	-21.24%	51.097	27.41%	47.072	17.37%
10	2.52	36.333	28.368	-21.92%	28.694	-21.02%	45.482	25.18%	42.061	15.77%
9	2.29	32.346	25.279	-21.85%	25.612	-20.82%	39.564	22.31%	36.784	13.72%
8	2.06	28.171	22.041	-21.76%	22.363	-20.62%	32.792	16.40%	30.855	9.53%
7	1.82	23.847	18.68	-21.67%	18.977	-20.42%	28.885	21.13%	28.489	19.47%
6	1.58	19.408	15.226	-21.55%	15.486	-20.21%	24.617	26.84%	23.181	19.44%
5	1.34	14.917	11.718	-21.45%	11.93	-20.02%	20.443	37.04%	18.922	26.85%
4	1.09	10.388	8.188	-21.18%	8.342	-19.70%	17.224	65.81%	17.525	68.70%
3	0.85	6.027	4.749	-21.20%	4.84	-19.69%	9.685	60.69%	9.687	60.73%
2	0.60	4.148	3.359	-19.02%	3.426	-17.41%	6.7	61.52%	6.602	59.16%
1	0.30	2.074	1.661	-19.91%	1.696	-18.23%	3.236	56.03%	3.205	54.53%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
PRIMER CUADRANTE	-23.94%	-25.37%	65.81%	68.70%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58:

Porcentaje de variación de desplazamientos "Y" en el segundo cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamientos Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy
21	4.52	60.979	46.38	-23.94%	45.511	-25.37%	80.27	31.64%	71.977	18.04%
20	4.39	60.554	46.588	-23.06%	45.689	-24.55%	80.502	32.94%	72.349	19.48%
19	4.24	60.018	46.952	-21.77%	46.003	-23.35%	80.922	34.83%	72.725	21.17%
18	4.09	59.32	47.308	-20.25%	46.294	-21.96%	81.268	37.00%	72.9	22.89%
17	3.92	58.436	47.533	-18.66%	46.468	-20.48%	81.387	39.28%	72.735	24.47%
16	3.75	57.343	47.607	-16.98%	46.451	-18.99%	81.162	41.54%	72.087	25.71%
15	3.56	56.017	47.402	-15.38%	46.182	-17.56%	80.503	43.71%	70.803	26.40%
14	3.37	54.437	46.885	-13.87%	45.613	-16.21%	79.337	45.74%	68.73	26.26%
13	3.17	52.583	46.012	-12.50%	44.706	-14.98%	77.611	47.60%	65.729	25.00%
12	2.96	50.433	44.751	-11.27%	43.435	-13.88%	75.287	49.28%	61.727	22.39%
11	2.74	47.965	43.077	-10.19%	41.778	-12.90%	72.334	50.81%	56.758	18.33%
10	2.52	45.154	40.968	-9.27%	39.716	-12.04%	68.721	52.19%	51.091	13.15%
9	2.29	41.965	38.397	-8.50%	37.223	-11.30%	64.4	53.46%	45.277	7.89%
8	2.06	38.356	35.332	-7.88%	34.266	-10.66%	59.308	54.63%	40.728	6.18%
7	1.82	34.29	31.743	-7.43%	30.809	-10.15%	53.373	55.65%	39.801	16.07%
6	1.58	29.753	27.628	-7.14%	26.842	-9.78%	46.562	56.50%	38.603	29.74%
5	1.34	24.794	23.046	-7.05%	22.415	-9.60%	38.944	57.07%	37.35	50.64%
4	1.09	19.571	18.177	-7.12%	17.697	-9.58%	30.796	57.36%	36.55	86.76%
3	0.85	14.414	13.378	-7.19%	13.031	-9.59%	22.704	57.51%	28.559	98.13%
2	0.60	10.06	9.344	-7.12%	9.103	-9.51%	15.863	57.68%	20.069	99.49%
1	0.30	4.984	4.633	-7.04%	4.514	-9.43%	7.867	57.85%	9.973	100.10%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
SEGUNDO CUADRANTE	-23.94%	-25.37%	57.85%	100.10%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59:

Porcentaje de variación de desplazamientos "Y" en el tercer cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamientos Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy
21	4.52	60.979	46.38	-23.94%	45.511	-25.37%	80.27	31.64%	71.977	18.04%
20	4.39	60.478	46.269	-23.49%	45.263	-25.16%	80.069	32.39%	72.06	19.15%
19	4.24	59.63	45.861	-23.09%	44.726	-24.99%	79.382	33.12%	71.621	20.11%
18	4.09	58.415	45.138	-22.73%	43.852	-24.93%	78.092	33.68%	70.633	20.92%
17	3.92	56.831	44.096	-22.41%	42.641	-24.97%	76.184	34.05%	69.084	21.56%
16	3.75	54.886	42.74	-22.13%	41.098	-25.12%	73.655	34.20%	66.964	22.01%
15	3.56	52.589	41.08	-21.88%	39.239	-25.39%	70.527	34.11%	64.28	22.23%
14	3.37	49.958	39.129	-21.68%	37.081	-25.78%	66.827	33.77%	61.039	22.18%
13	3.17	47.012	36.906	-21.50%	34.648	-26.30%	62.595	33.15%	57.261	21.80%
12	2.96	43.773	34.43	-21.34%	31.962	-26.98%	57.871	32.21%	52.976	21.02%
11	2.74	40.263	31.721	-21.22%	29.038	-27.88%	52.681	30.84%	48.218	19.76%
10	2.52	36.508	28.8	-21.11%	25.896	-29.07%	47.062	28.91%	43.065	17.96%
9	2.29	32.536	25.691	-21.04%	22.572	-30.62%	41.085	26.28%	37.681	15.81%
8	2.06	28.375	22.416	-21.00%	18.779	-33.82%	34.241	20.67%	32.149	13.30%
7	1.82	24.062	19.006	-21.01%	17.044	-29.17%	30.002	24.69%	29.634	23.16%
6	1.58	19.635	15.493	-21.09%	13.82	-29.62%	25.263	28.66%	24.244	23.47%
5	1.34	15.141	11.92	-21.27%	11.197	-26.05%	20.494	35.35%	19.896	31.40%
4	1.09	10.618	8.327	-21.58%	10.239	-3.57%	18.741	76.50%	18.133	70.78%
3	0.85	6.218	4.837	-22.21%	5.579	-10.28%	10.219	64.35%	9.972	60.37%
2	0.60	4.412	3.423	-22.42%	3.78	-14.32%	6.928	57.03%	6.806	54.26%
1	0.30	2.187	1.693	-22.59%	1.821	-16.74%	3.339	52.67%	3.302	50.98%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
TERCER CUADRANTE	-23.94%	-33.82%	76.50%	70.78%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60:

Porcentaje de variación de desplazamientos "Y" en el cuarto cuadrante de los eco-domos 1, 2, 3 y 4 con respecto del eco-domo 0

N° DE HILADA	ALTURA (m)	Desplazamientos Eco-domo 0	Eco-domo 1		Eco-domo 2		Eco-domo 3		Eco-domo 4	
			Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy	Dy (mm)	%Δ Dy
21	4.52	60.979	46.38	-23.94%	45.511	-25.37%	80.27	31.64%	71.977	18.04%
20	4.39	60.554	46.101	-23.87%	45.278	-25.23%	79.745	31.69%	72.028	18.95%
19	4.24	60.018	45.495	-24.20%	44.734	-25.47%	78.695	31.12%	71.733	19.52%
18	4.09	59.32	44.598	-24.82%	43.912	-25.97%	77.168	30.09%	71.027	19.74%
17	3.92	58.436	43.421	-25.69%	42.815	-26.73%	75.172	28.64%	69.855	19.54%
16	3.75	57.343	41.943	-26.86%	41.419	-27.77%	72.664	26.72%	68.132	18.81%
15	3.56	56.017	40.116	-28.39%	39.671	-29.18%	69.554	24.17%	65.743	17.36%
14	3.37	54.437	37.871	-30.43%	37.5	-31.11%	65.718	20.72%	62.551	14.91%
13	3.17	52.582	35.127	-33.20%	34.824	-33.77%	61.017	16.04%	58.413	11.09%
12	2.96	50.433	31.823	-36.90%	31.581	-37.38%	55.347	9.74%	53.231	5.55%
11	2.74	47.965	27.944	-41.74%	27.758	-42.13%	48.695	1.52%	47	-2.01%
10	2.52	45.154	23.626	-47.68%	23.492	-47.97%	41.3	-8.54%	39.971	-11.48%
9	2.29	41.964	19.161	-54.34%	19.074	-54.55%	33.679	-19.74%	32.676	-22.13%
8	2.06	38.356	15.5	-59.59%	15.449	-59.72%	27.409	-28.54%	26.658	-30.50%
7	1.82	34.29	15.085	-56.01%	15.011	-56.22%	26.731	-22.04%	25.96	-24.29%
6	1.58	29.753	13.678	-54.03%	13.557	-54.43%	24.246	-18.51%	23.59	-20.71%
5	1.34	24.794	12.603	-49.17%	12.431	-49.86%	22.345	-9.88%	21.747	-12.29%
4	1.09	19.571	11.475	-41.37%	11.331	-42.10%	20.351	3.99%	19.813	1.24%
3	0.85	14.414	10.582	-26.59%	10.463	-27.41%	18.777	30.27%	18.283	26.84%
2	0.60	10.06	8.141	-19.08%	8.067	-19.81%	14.461	43.75%	14.092	40.08%
1	0.30	4.984	5.417	8.69%	5.385	8.05%	9.64	93.42%	9.398	88.56%

%Δ Dx Porcentaje de variación de desplazamientos respecto del Eco-domo 0

	Eco-domo 1	Eco-domo 2	Eco-domo 3	Eco-domo 4
CUARTO CUADRANTE	-59.59%	-59.72%	93.42%	88.56%

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 10: Tabla de coeficientes sísmicos para estructuras atípicas, ASCE standard 7-05

Cargas mínimas de diseño para edificios y estructuras atípicas

Tabla 61:

Tabla de coeficientes sísmicos para estructuras atípicas, ASCE standard 7-05

TABLE 15.4-2 SEISMIC COEFFICIENTS FOR NONBUILDING STRUCTURES NOT SIMILAR TO BUILDINGS									
Nonbuilding Structure Type	Detailing Requirements ^c	R	Ω_0	C_d	STRUCTURAL SYSTEM AND HEIGHT LIMITS (ft.) ^{a,d}				
					A & B	C	D	E	F
Elevated tanks, vessels, bins, or hoppers:									
On symmetrically braced legs (not similar to buildings)	15.7.10	3	2 ^b	2.5	NL	NL	160	100	100
On unbraced legs or asymmetrically braced legs (not similar to buildings)	15.7.10	2	2 ^b	2.5	NL	NL	100	60	60
Single pedestal or skirt supported									
- welded steel	15.7.10	2	2 ^b	2	NL	NL	NL	NL	NL
- welded steel with special detailing	15.7.10 and 15.7.10.5 a and b.	3	2 ^b	2	NL	NL	NL	NL	NL
- prestressed or reinforced concrete	15.7.10	2	2 ^b	2	NL	NL	NL	NL	NL
- prestressed or reinforced concrete with special detailing	15.7.10 and 14.2.3.6	3	2 ^b	2	NL	NL	NL	NL	NL
Horizontal, saddle supported welded steel vessels	15.7.14	3	2 ^b	2.5	NL	NL	NL	NL	NL
Tanks or vessels supported on structural towers similar to buildings	15.5.5	Use values for the appropriate structure type in the categories for building frame systems and moment resisting frame systems listed in Table 15.4-1.							
Flat-bottom ground-supported tanks:	15.7								
Steel or fiber-reinforced plastic:									
Mechanically anchored		3	2 ^b	2.5	NL	NL	NL	NL	NL
Self-anchored		2.5	2 ^b	2	NL	NL	NL	NL	NL
Reinforced or prestressed concrete:									
reinforced nonsliding base		2	2 ^b	2	NL	NL	NL	NL	NL
anchored flexible base		3.25	2 ^b	2	NL	NL	NL	NL	NL
unanchored and unconstrained flexible base		1.5	1.5 ^b	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
All other		1.5	1.5 ^b	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
Cast-in-place concrete silos, stacks, and chimneys having walls continuous to the foundation	15.6.2	3	1.75	3	NL	NL	NL	NL	NL
All other reinforced masonry structures not similar to buildings	14.4.1	3	2	2.5	NL	NL	NL	50	50
All other nonreinforced masonry structures not similar to buildings	14.4.1	1.25	2	1.5	NL	NL	50	50	50
All other steel and reinforced concrete distributed mass cantilever structures not covered herein including stacks, chimneys, silos, and skirt-supported vertical vessels that are not similar to buildings	15.6.2 15.7.10 and 15.7.10.5 a and b.	3	2	2.5	NL	NL	NL	NL	NL
Trussed towers (freestanding or guyed), guyed stacks and chimneys	15.6.2	3	2	2.5	NL	NL	NL	NL	NL
Cooling towers									
Concrete or steel		3.5	1.75	3	NL	NL	NL	NL	NL
Wood frames		3.5	3	3	NL	NL	NL	50	50
Telecommunication towers	15.6.6								
Truss: Steel		3	1.5	3	NL	NL	NL	NL	NL
Pole: Steel		1.5	1.5	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
Wood		1.5	1.5	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
Concrete		1.5	1.5	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
Frame: Steel		3	1.5	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
Wood		1.5	1.5	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
Concrete		2	1.5	1.5	NL	NL	NL	NL	NL
Amusement structures and monuments	15.6.3	2	2	2	NL	NL	NL	NL	NL
Inverted pendulum type structures (except elevated tanks, vessels, bins, and hoppers)	12.2.5.3	2	2	2	NL	NL	NL	NL	NL
Signs and billboards		3.5	1.75	3	NL	NL	NL	NL	NL
All other self-supporting structures, tanks, or vessels not covered above or by reference standards that are similar to buildings		1.25	2	2.5	NL	NL	50	50	50

^a NL = no limit and NP = not permitted. Heights shall be measured from the base.

^b See Section 15.7.3a for the application of the overstrength factors, Ω_0 , for tank and vessels.

^c If a section is not indicated in the Detailing Requirements column, no specific detailing requirements apply.

^d For the purpose of height limit determination, the height of the structure shall be taken as the height to the top of the structural frame making up the primary seismic force-resisting system.

Fuente: ASCE standard 7-05

ANEXO N° 11: Modelación eco-domo 0 (eco domo sin vanos)

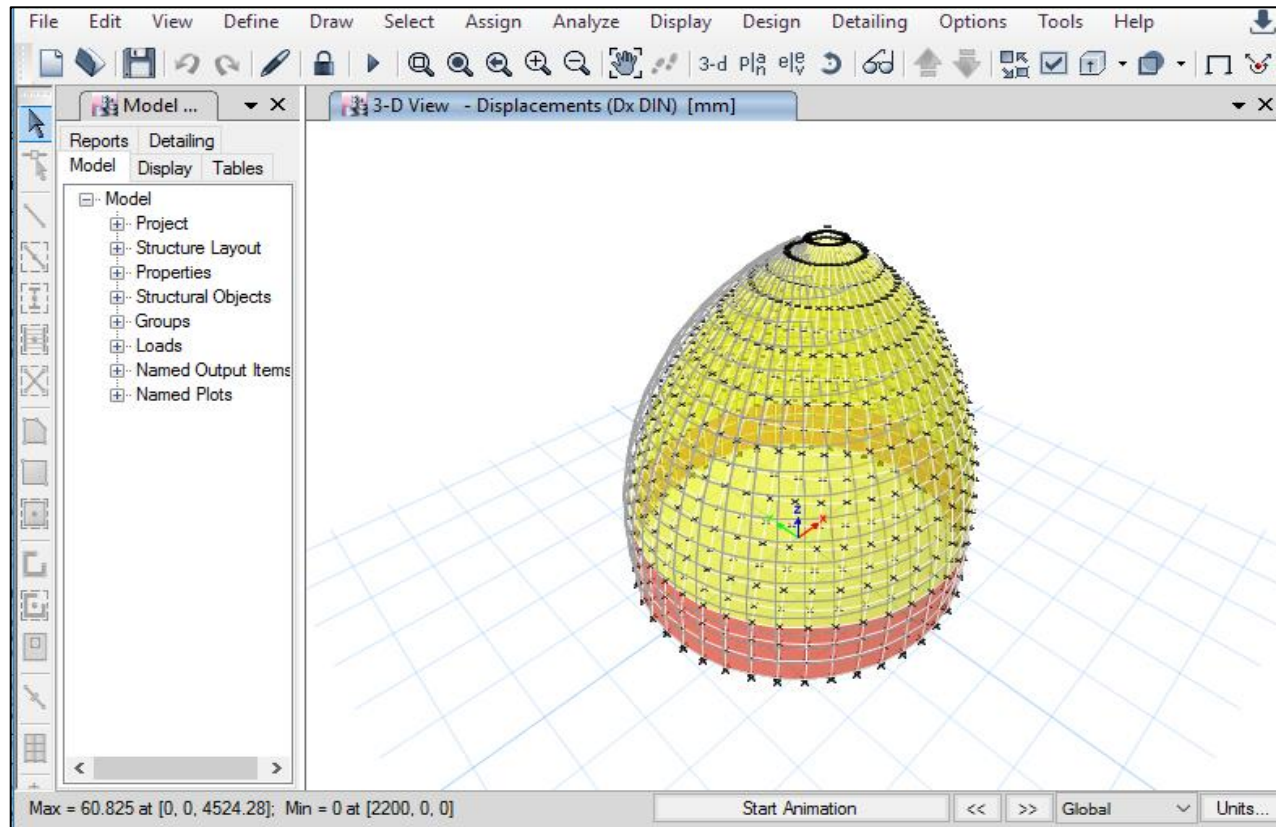


Figura 62 Modelación eco-domo 0 (eco domo sin vanos)

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 12: Modelación eco-domo 1 (eco domo con 1 vano)

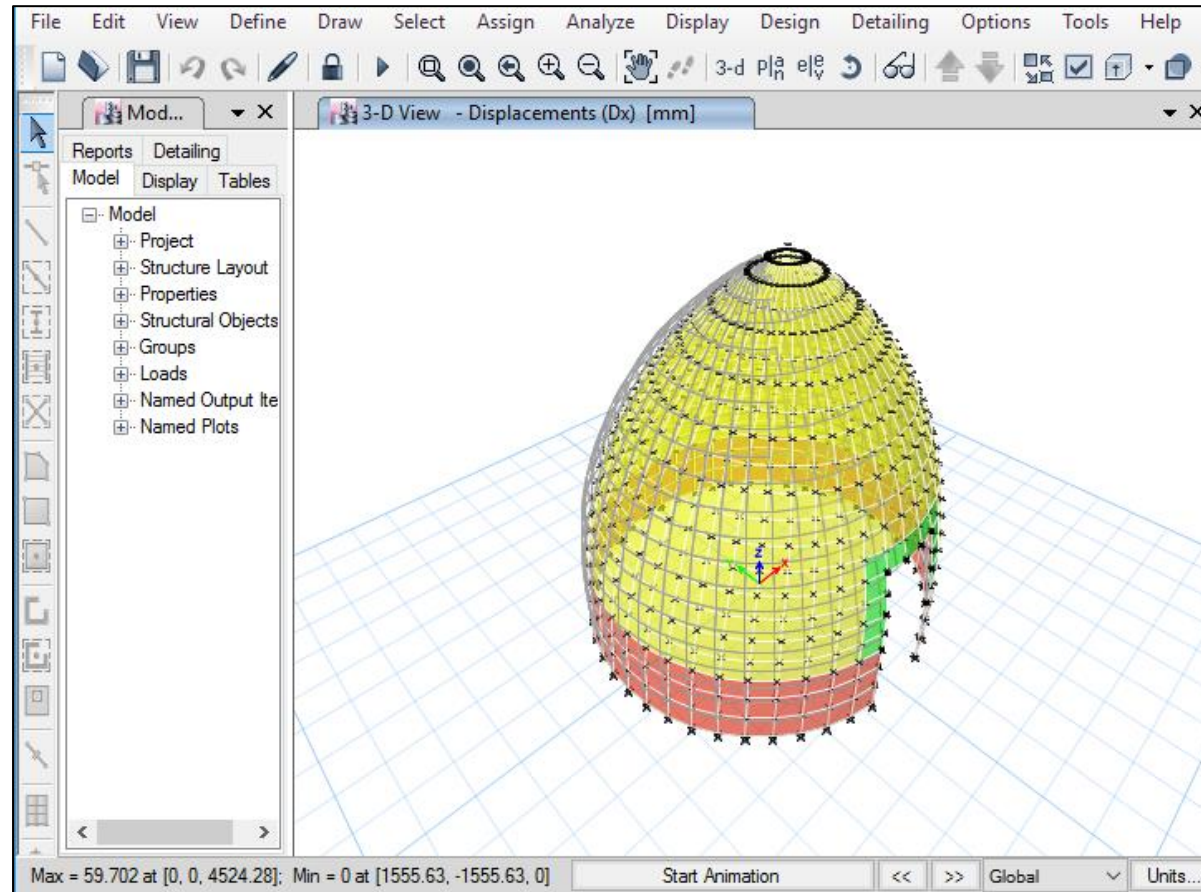


Figura 63 Modelación eco-domo 1 (eco domo con 1 vano)

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 13: Modelación eco-domo 2 (eco domo con 2 vanos)

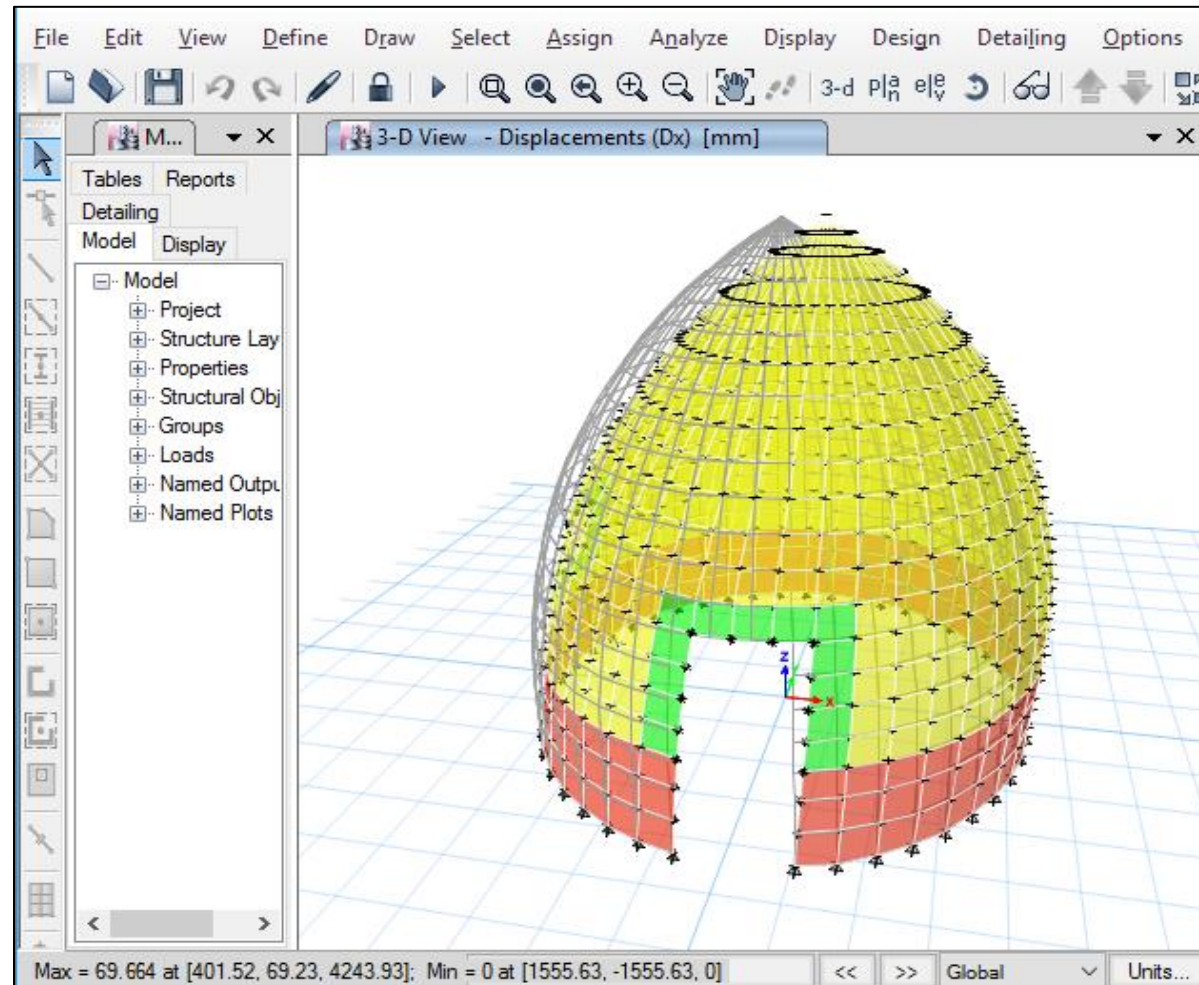


Figura 64: Modelación eco-domo 2 (eco domo con 2 vanos)

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 13: Modelación eco-domo 3 (eco domo con 3 vanos)

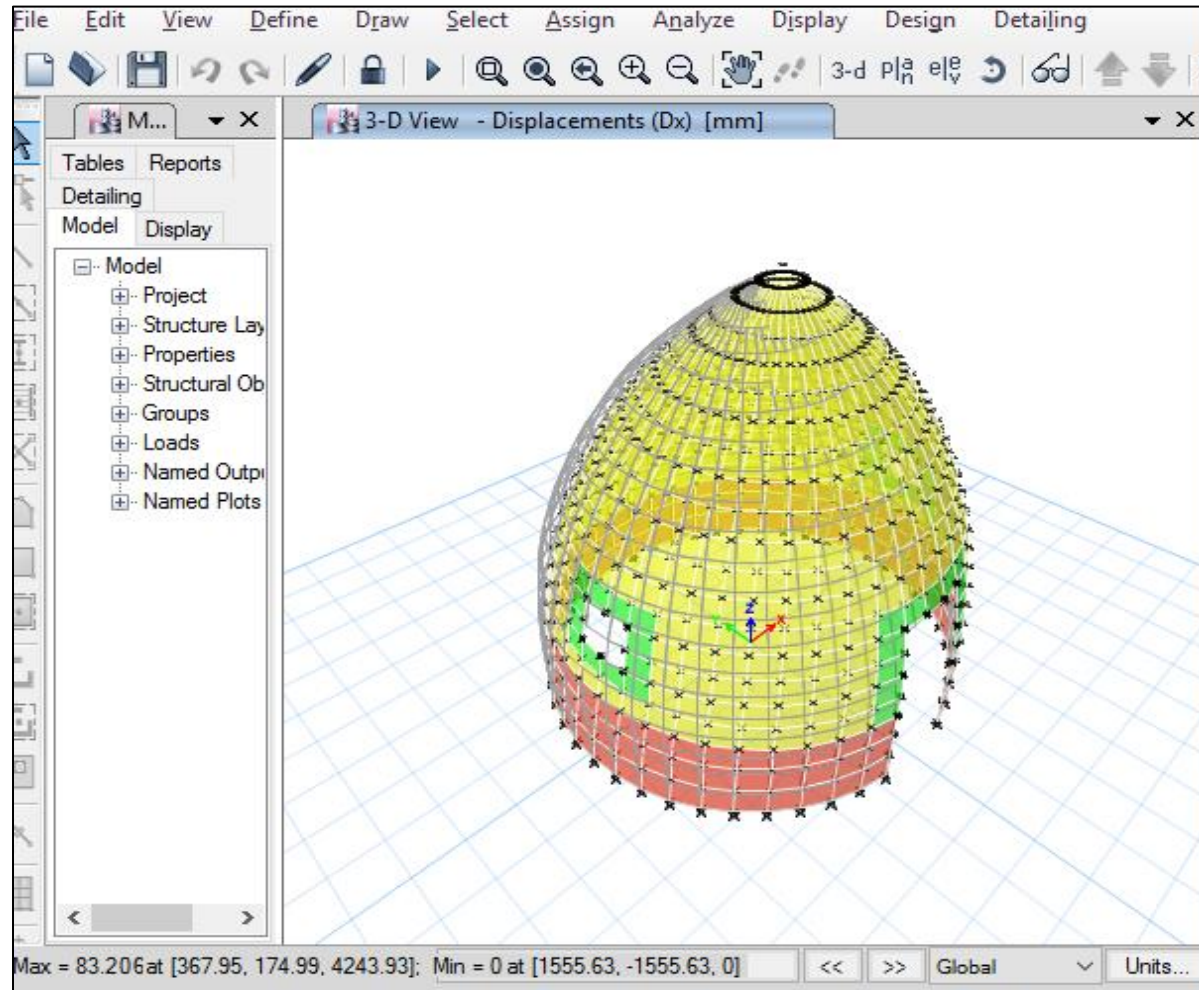


Figura 65: Modelación eco-domo 3 (eco domo con 3 vanos)

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 13: Modelación eco-domo 4 (eco domo con 4 vanos)

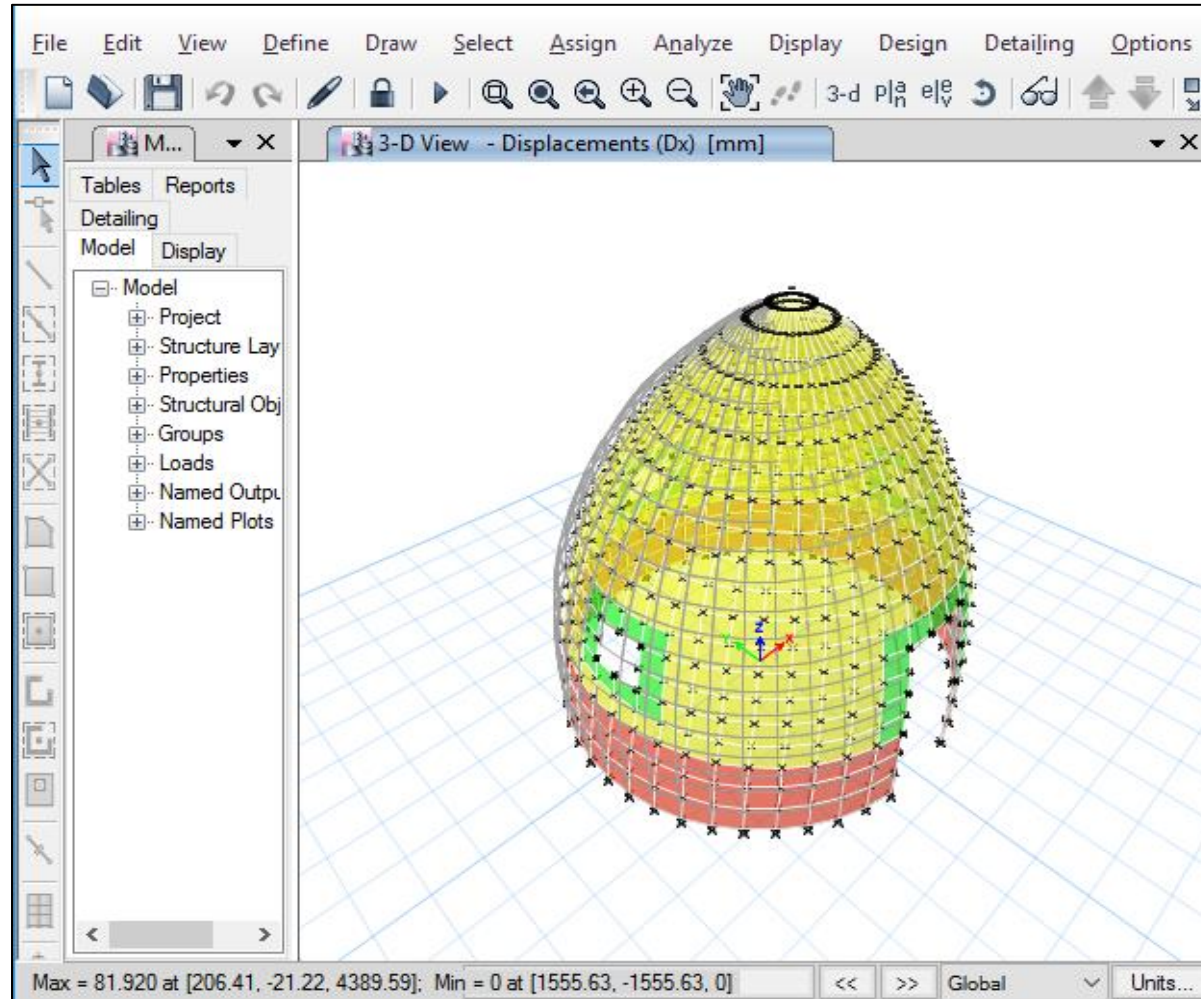


Figura 66: Modelación eco-domo 4 (eco domo con 4 vanos)

Fuente: Elaboración propia