



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un Escenario Modular de Combate en Población para
la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: AA. Juan Francisco Vidal Sánchez

DIRECTORES: D. Arturo González Gil

D. Miguel Ángel Gómez Rodríguez

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un Escenario Modular de Combate en Población para
la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

El desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado comprende la identificación de una necesidad presente en la Escuela Naval Militar, la definición de los requisitos que debe cumplir la solución, el análisis de las posibles soluciones existentes y la definición de otras alternativas. El proyecto culminará con la propuesta de un diseño que satisfaga esa necesidad cumpliendo con los requisitos necesarios.

La necesidad identificada es la falta de un espacio adecuado para la realización de las prácticas de Combate en Población por parte de los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar. Por lo que el objetivo del trabajo es el diseño de un escenario que permita la realización de las prácticas de combate en población sin necesidad de trasladarse a otros acuartelamientos.

Para alcanzar ese diseño se ha realizado un trabajo de investigación sobre soluciones existentes y se han combinado los conocimientos adquiridos en el Grado de Ingeniería Mecánica con los adquiridos en la formación militar como Oficial de Infantería de Marina.

El resultado es un escenario de 21x21 metros, que se puede ubicar en cuatro zonas diferentes de la Escuela Naval Militar, y que permite ser modificado, montado y desmontado con facilidad. Para ello combina 225 columnas metálicas con 420 paneles de MDF dispuestos formando una cuadrícula, que está equilibrada mediante cables de acero inoxidable.

PALABRAS CLAVE

Estructura modular, Escuela Naval Militar, Combate en población, MIO, Adiestramiento

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi familia, amigos y compañeros por el apoyo recibido en la realización del proyecto.

A mis directores D. Arturo González Gil y D. Miguel Ángel Gómez Rodríguez por su esfuerzo y la ayuda que me han brindado.

Al Departamento de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar y en particular al Capitán Oscar Iván Iglesias Sánchez por la información y disponibilidad ofrecidos.

Por último a la Escuela Naval Militar y al Centro Universitario de la Defensa por el material suministrado que ha hecho posible el desarrollo del presente proyecto.

Juan Francisco Vidal Sánchez

Tabla de contenido

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	9
Índice de Ecuaciones	10
1 Introducción y objetivos	12
1.1 Contexto y justificación del proyecto	12
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Principal.....	14
1.2.2 Objetivos Secundarios.....	14
1.3 Metodología y Estructura de la memoria	15
2 Estado del arte	17
2.1 Combate en población.....	17
2.1.1 Consideraciones tácticas.....	17
2.1.2 Fases del combate en población	18
2.1.3 Operaciones de Interdicción Marítima	22
2.2 Escenarios para práctica de Combate en Población.....	23
2.2.1 Ejemplos de Escenarios de Combate en Población.....	24
2.3 Estructuras similares con otras aplicaciones	30
3 Requisitos y condicionantes de diseño	33
3.1 Requisitos para su uso.....	33
3.1.1 Requisitos básicos	33
3.1.2 Requisitos accesorios	34
3.2 Condicionantes propios de la ENM	35
3.2.1 Ubicación y dimensiones.....	35
3.2.2 Materiales	43
3.2.3 Condicionantes atmosféricos.....	43

4	Diseño	45
4.1	Propuesta de diseño.....	45
4.1.1	Ubicación y dimensiones exteriores.....	45
4.1.2	Materiales y disposición.....	46
4.2	Proceso de diseño de elementos.....	47
4.2.1	Columnas.....	47
4.2.2	Sujeción superior de columnas.....	48
4.2.3	Acople entre panel y columna	50
4.2.4	Apoyo de las columnas en el suelo	52
4.2.5	Puertas y ventanas	55
4.3	Modelo tridimensional de la solución propuesta	57
5	Comprobaciones Estructurales	58
5.1	Determinación de cargas.....	58
5.1.1	Definición de la condición de carga más desfavorable	58
5.1.2	Descripción de cargas supuestas	59
5.1.3	Combinación de cargas y coeficientes de mayoración.....	62
5.1.4	Cálculo del estado de equilibrio estático.....	63
5.2	Comprobación de resistencia del cable estructural	65
5.3	Comprobación estructural de la columna.....	67
5.3.1	Descripción del perfil	67
5.3.2	Cálculo de esfuerzos.....	67
5.3.3	Estudio de pandeo	68
5.3.4	Estudio de resistencia	69
6	Presupuesto	71
6.1	Cables y elementos de anclaje	71
6.2	Columnas	72
6.3	Paneles	72

7	Conclusiones y líneas futuras	73
7.1	Conclusiones	73
7.2	Líneas Futuras	74
7.2.1	Dimensionado de los elementos auxiliares diseñados.....	74
7.2.2	Cálculo de los esfuerzos locales en las columnas	74
7.2.3	Diseño de estructura adyacente para observación del ejercicio por parte de los instructores	74
7.2.4	Explanación y cimentación del terreno donde ubique el escenario.....	74
8	Bibliografía.....	75
	Anexo I: Realización del modelo tridimensional con SketchUp	77
A1.1	Creación de plantilla completa.....	77
A1.2	Creación de un ejemplo de escenario.....	87
	Anexo II: Realización del modelo tridimensional del acople panel-columna con NX8.5	91
A2.1	Creación del modelo de la pieza macho	91
A2.2	Creación del modelo de la pieza hembra	95
A2.3	Ensamble del conjunto	97
	Anexo III: Realización del modelo tridimensional del apoyo articulado con NX8.5	98
A3.1	Creación de la carcasa de soporte	98
A3.2	Creación de la carcasa superior.....	100
A3.3	Creación de la esfera	101
A3.4	Ensamblaje del conjunto del apoyo articulado	103

Índice de Figuras

Figura 1-1 Vista aérea de la calle para prácticas de combate en población en Base General Morillo (1)	13
Figura 1-2 Vista aérea del poblado afgano para prácticas de combate en población en Base General Morillo (1)	13
Figura 2-1. Movimiento por exteriores para equipo de 4 hombres (2)	19
Figura 2-2 Movimiento por exteriores para equipo de 6 hombres (2)	19
Figura 2-3 Movimiento por exteriores para equipo de 8 hombres (2)	20
Figura 2-4 Movimiento en “Bastón” para combate en población(2)	20
Figura 2-5 Movimiento de “Cruzado” para combate en población (2).....	21
Figura 2-6 Entrada doble cruzado (2)	21
Figura 2-7 Entrada cruzado-bastón (2).....	21
Figura 2-8 Entrada en estancia con pasillo (2).....	22
Figura 2-9 Ejercicio en el escenario de la calle con edificios de dos plantas de la BRILAT GALICIA VII ((4)).....	24
Figura 2-10 Ejercicio en poblado afgano de la BRILAT GALICIA VII (4)	24
Figura 2-11 Simulador de tiro en combate urbano de la BRILAT GALICIA VII (4).....	25
Figura 2-12 Zona de instalaciones de combate en población en CMT “Los Aljares” (5)	25
Figura 2-13 Barrio nuevo en CMT Aljares (5)	26
Figura 2-14 Barrio gris en CMT Aljares ((5))	26
Figura 2-15 Colegio en CMT Aljares (5).....	27
Figura 2-16 Barrio rojo en CMT Aljares (5).....	27
Figura 2-17 Cortijo en CMT Aljares (5)	28
Figura 2-18 Laberinto en CMT Aljares (5).....	28
Figura 2-19 Alcantarillado en CMT Aljares (5).....	29
Figura 2-20 Casa modular en CMT Aljares (5)	29
Figura 2-21 La casa de tela en El Goloso (6).....	30

Figura 2-22 Fotografía de las gradas de la ENM	31
Figura 2-23 Fotografía de la red de seguridad del palo de señales de la ENM.....	31
Figura 2-24 Fotografía de sujeciones de la pala del timón de embarcación Snipe	32
Figura 2-25 Paneles MDF en parque infantil (7)	32
Figura 3-1 Vista aérea de la Ría de Pontevedra (1).....	35
Figura 3-2 Posibles ubicaciones dentro de la Escuela Naval Militar (1)	35
Figura 3-3 Dimensiones de la Zona 1 (1).....	36
Figura 3-4 Dimensiones Zona 2 (1)	37
Figura 3-5 Dimensiones Zona 3 (1)	38
Figura 3-6 Dimensiones Zona 4 (1)	39
Figura 3-7 Dimensiones Zona 5 (1)	40
Figura 3-8 Vista aérea Zona 6 y ENM (1).....	41
Figura 3-9 Dimensiones Zona 6 (1)	42
Figura 4-1 Modelo tridimensional de la estructura	46
Figura 4-2 Modelo tridimensional de doble perfil UPN	47
Figura 4-3 Diseño en cruz para sustituir columnas	48
Figura 4-4 Diseño sujeción interior columnas	48
Figura 4-5 Diseño final sujeción columnas.....	49
Figura 4-6 Espacio al eliminar columnas en una habitación.....	49
Figura 4-7 Zoom superficie de contacto en acople	50
Figura 4-8 Pieza hembra del acople	50
Figura 4-9 Abrazadera en panel de madera.....	51
Figura 4-10 Soldadura abrazadera con acople	51
Figura 4-11 Columna empotrada en suelo (12).....	52
Figura 4-12 Apoyos fijos de columnas en el suelo (12).....	52
Figura 4-13 Fotografía de columna en apoyo fijo (12)	53
Figura 4-14 Diseños para apoyo articulado (12).....	53

Figura 4-15 Fotografía de apoyos del London Eye (12)	54
Figura 4-16 Esfera para apoyo articulado	54
Figura 4-17 Carcasa soporte para el apoyo articulado	54
Figura 4-18 Carcasa para el apoyo articulado	55
Figura 4-19 Montaje apoyo articulado de las columnas	55
Figura 4-20 Representación de ventana	56
Figura 4-21 Representación de puerta.....	56
Figura 4-22 Ejemplo de escenario para prácticas de combate en población.....	57
Figura 4-23 Modelo del escenario ubicado en la Zona 2	57
Figura 5-1 Representación del caso más desfavorable en el escenario.....	59
Figura 5-2 Representación de acciones en el eje y-y de la columna.....	63
Figura 5-3 Fuerzas que generan momento sobre el punto A.....	64
Figura 5-4 Representación de cargas en el caso más desfavorable para cable.....	65
Figura 5-5 Aplicación del modelo parabólico al cable	66
Figura 6-1 Sección 1x19 de cable AISI316	71
Figura A1-0-1 Ventana inicial SketchUp.....	77
Figura A1-0-2 Creación base columna.....	78
Figura A1-0-3 Creación de la columna	78
Figura A1-0-4 Creación sujeción superior	79
Figura A1-0-5 Referencias para base del panel	79
Figura A1-0-6 Creación paneles adyacentes	80
Figura A1-0-7 Referencias para cables	80
Figura A1-0-8 Creación de cables entre columnas	81
Figura A1-0-9 Menú de Opciones.....	81
Figura A1-0-10 Copia de textura en StreetView.....	82
Figura A1-0-11 Paneles con textura.....	82
Figura A1-0-12 Patrón con textura.....	83

Figura A1-0-13 Copia del patrón	83
Figura A1-0-14 Desplazamiento de la copia del patrón.....	84
Figura A1-0-15 Conjunto de 3 patrones.....	84
Figura A1-0-16 Repetición del patrón 15 veces.....	85
Figura A1-0-17 Patrón completo de fila de 15 columnas	85
Figura A1-0-18 Conjunto de 3 filas	86
Figura A1-0-19 Conjunto de 15 filas	86
Figura A1-0-20 Plantilla completa	87
Figura A1-0-21 Resultado de eliminar un panel	87
Figura A1-0-22 Resultado de eliminar una columna y sus cuatro paneles	88
Figura A1-0-23 Colocación de sujeción superior.....	88
Figura A1-0-24 Menú de opciones para Geolocalización.....	89
Figura A1-0-25 Región seleccionada en la ENM	89
Figura A1-0-26 Ejemplo de estructura ubicada en la ENM.....	90
Figura A2-0-1 Croquis inicial pieza macho	91
Figura A2-0-2 Forma básica de la pieza macho.....	91
Figura A2-0-3 Segundo croquis para intersección	92
Figura A2-0-4 Unión de las dos extrusiones	92
Figura A2-0-5 Intersección de las dos extrusiones	93
Figura A2-0-6 Pieza con bordes redondeados.....	93
Figura A2-0-7 Croquis del tetón de la pieza macho.....	94
Figura A2-0-8 Pieza macho del acople	94
Figura A2-0-9 Croquis perpendicular de la pieza hembra	95
Figura A2-0-10 Intersección de extrusiones en pieza hembra	95
Figura A2-0-11 Realización de agujero avellanado	96
Figura A2-0-12 Pieza hembra con agujero	96
Figura A2-0-13 Modelo tridimensional de la pieza hembra	97

Figura A2-0-14 Montaje final del acople entre panel y columna	97
Figura A3-0-1 Croquis de cuarto de esfera para carcasa soporte.....	98
Figura A3-0-2 Revolución para forma de carcasa soporte.....	98
Figura A3-0-3 Parámetros del patrón circular en carcasa soporte	99
Figura A3-0-4 Modelo tridimensional de carcasa soporte	99
Figura A3-0-5 Croquis inicial de carcasa superior.....	100
Figura A3-0-6 Revolución de carcasa superior.....	100
Figura A3-0-7 Modelo tridimensional de la carcasa superior.....	101
Figura A3-0-8 Esfera de revolución para pieza de apoyo	101
Figura A3-0-9 Extrusiones cilíndricas en esfera	102
Figura A3-0-10 Parámetros de la rosca para esfera.	102
Figura A3-0-11 Modelado tridimensional de esfera	103
Figura A3-0-12 Montaje de apoyo libre.....	103

Índice de Tablas

Tabla 3-1 Requisitos de diseño para uso	34
Tabla 3-2 Ventajas e Inconvenientes Zona 1	36
Tabla 3-3 Ventajas e Inconvenientes de la Zona 2.....	37
Tabla 3-4 Ventajas e Inconvenientes Zona 3	38
Tabla 3-5 Ventajas e Inconvenientes Zona 4	39
Tabla 3-6 Ventajas e Inconvenientes Zona 5	40
Tabla 3-7 Ventajas e Inconvenientes Zona 6	42
Tabla 5-1 Valores determinados para las cargas	61
Tabla 5-2 Propiedades del cable 1x19 8mm AISI316.....	65
Tabla 5-3 Propiedades del perfil doble UPN200.....	67

Índice de Ecuaciones

Ecuación 5-1 Cálculo del peso de una columna.....	59
Ecuación 5-2 Cálculo del peso de la sujeción superior	59
Ecuación 5-3 Estimación del peso de la pieza hembra del acople	60
Ecuación 5-4 Estimación del peso de la abrazadera.....	60
Ecuación 5-5 Cálculo del peso de un panel MDF	60
Ecuación 5-7 Fórmula para el cálculo de la carga de viento.....	60
Ecuación 5-8 Ecuación para el cálculo de la presión dinámica.....	60
Ecuación 5-6 Cálculo del peso total de un panel.....	60
Ecuación 5-9 Fórmula para combinación de acciones	62
Ecuación 5-10 Carga por combinación de acciones variables	62
Ecuación 5-11 Condiciones de equilibrio estático en el plano.....	63
Ecuación 5-12 Equilibrio de momentos en la base de la columna	64
Ecuación 5-13 Valor de la Tensión para equilibrio estático.....	64
Ecuación 5-14 Ecuación del modelo parabólico	66
Ecuación 5-15 Cálculo de parámetros de la ecuación del cable.....	66
Ecuación 5-16 Cálculo de la componente horizontal de la tensión del cable	66
Ecuación 5-17 Cálculo de la tensión mínima necesaria	66
Ecuación 5-18 Comprobación de resistencia del cable	66
Ecuación 5-19 Momento flector máximo por carga de viento	68
Ecuación 5-20 Momento flector máximo por carga de uso	68
Ecuación 5-21 Cálculo de carga axial total	68
Ecuación 5-22 Cálculo de la esbeltez dimensional	68
Ecuación 5-23 Cálculo de la esbeltez de cada eje	69
Ecuación 5-24 Fórmula para el cálculo del coeficiente de reducción por pandeo	69

Ecuación 5-25 Cálculo de la carga de agotamiento plástico de la sección	69
Ecuación 5-26 Condición de resistencia a pandeo	69
Ecuación 5-27 Condición de resistencia a plastificación	70

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contexto y justificación del proyecto

El componente terrestre de los conflictos bélicos en la actualidad se desarrolla principalmente en ambientes urbanos, dónde las tácticas de la guerra convencional no se pueden aplicar. Así mismo, el combate asimétrico en el que se ven inmersas las Fuerzas Armadas de los países occidentales, han hecho que sus Ejércitos incluyan un alto grado de adiestramiento en combate urbano entre los requisitos básicos de todo militar de Infantería.

Además de en las operaciones terrestres, las técnicas de combate en población (o combate urbano) son de aplicación también en las operaciones contra piratería que se desarrollan actualmente en el Océano Índico y en el Golfo de Guinea, entre otros. En dichas operaciones se deben efectuar registros en el interior de buques, cuya dotación puede llegar a ser hostil, siendo similar al registro de un edificio en cualquier escenario bélico terrestre.

Es por estos motivos, que las Fuerzas Armadas Españolas (FAS), y en particular la Armada Española, emplean tiempo y recursos en la formación de sus hombres y mujeres para el conocimiento y ejecución coordinada de estas técnicas. La Escuela Naval Militar (ENM), como centro de formación de los futuros oficiales de la Armada Española, incluye el adiestramiento en Combate Urbano y operaciones de Visita y Registro en los planes de estudio de sus alumnos.

Hasta el curso 2013/2014 se habían empleado las instalaciones de la Base General Morillo, en la que se acuartela la Brigada de Infantería Ligera Aerotransportable (BRILAT) del Ejército de Tierra. Gracias a esa colaboración, los alumnos de Infantería de Marina de la ENM disponían de dos escenarios para adiestrarse en el combate urbano: una calle con edificios de dos plantas (véase [Figura 1-1]) y una simulación de poblado afgano (véase Figura 1-2).

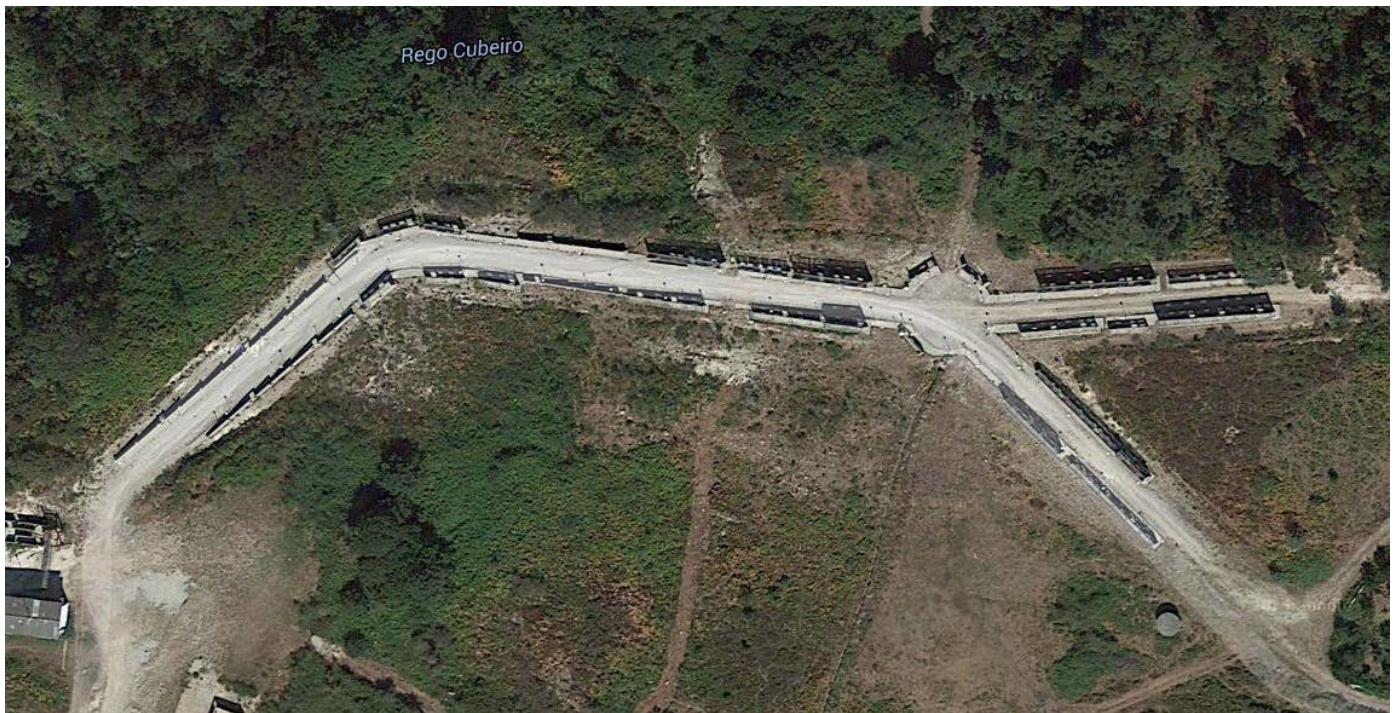


Figura 1-1 Vista aérea de la calle para prácticas de combate en población en Base General Morillo (1)



Figura 1-2 Vista aérea del poblado afgano para prácticas de combate en población en Base General Morillo (1)

Debido a temas legales que no entran dentro de las competencias de este trabajo, las instalaciones de la Base General Morillo han sido desmanteladas, apareciendo la necesidad de crear o encontrar unas nuevas para que los alumnos de la ENM continúen su adiestramiento.

Ya en otros acuartelamientos y bases militares se encuentran construidas instalaciones con esta finalidad; de modo que la Escuela Naval Militar, como centro de formación, debería disponer de una propia. Así se aprovecharía de una manera más eficiente el tiempo disponible para adiestrar a los alumnos en este tipo de combate. Evitando realizar traslados a otras unidades, se podría combinar la realización de prácticas de Combate en Población en la nueva instalación, con otro tipo de actividades como Tiro de Pistola, Pista Militar y Comunicaciones.

En respuesta a esta necesidad, este proyecto se centra en diseñar una estructura que permita la práctica de las técnicas de combate en población de los alumnos de Infantería de Marina; incluyendo la posibilidad de que sirva también para el adiestramiento en Operaciones de Intervención Marítima (MIO). El nuevo diseño debe cumplir una serie de requisitos, satisfacer unas necesidades claras y estar dentro de la normativa legal para la construcción de estructuras en zonas costeras.

1.2 Objetivos

Para la realización de este proyecto se ha establecido un sistema de objetivos, compuesto por Objetivos Principales y Objetivos Secundarios; que se detallan a continuación:

1.2.1 Objetivo Principal

Se define como aquél cuyo cumplimiento es clave para el éxito del proyecto

- ✓ Diseño de una estructura modulable y desmontable para realizar prácticas de combate en población en la Escuela Naval Militar o alguno de sus destacamentos. Esto incluye el estudio de escenarios empleados por otras unidades, el análisis de los condicionantes y requisitos de diseño, la selección de un emplazamiento adecuado y el dimensionado básico de la estructura y sus componentes.

1.2.2 Objetivos Secundarios

Se definen como aquellos cuyo cumplimiento mejorará las prestaciones del proyecto, pero cuyo incumplimiento no implicará el fracaso del mismo. Su desarrollo dependerá del tiempo disponible y del cumplimiento del objetivo principal.

- ✓ Diseño propio de los anclajes entre paneles y columnas.
- ✓ Posibilidad de crear un espacio abierto amplio dentro de la estructura.
- ✓ Posibilidad de otros tipos de paneles que simulen puertas y escotillas.
- ✓ Diseño de una estructura elevada adyacente que permita la observación del desarrollo del ejercicio por parte de los instructores.

1.3 Metodología y Estructura de la memoria

Este documento se encuentra dividido en 7 capítulos, que permiten desarrollar de forma clara el proyecto y sus implicaciones. Las etapas seguidas en la realización del proyecto se corresponden con cada uno de los capítulos.

Estado del Arte: se detalla el trabajo de investigación que ha dado lugar a una primera idea del diseño. Este capítulo está compuesto por diversos apartados que clasifican las diferentes fuentes de información y lo hacen más comprensible al lector. En primer lugar, una introducción sobre lo que la doctrina define como Combate en Población y Operación de Interdicción Marítima, seguido de una justificación del uso de la instalación que se va a construir.

En segundo lugar, un proceso de investigación que incluye referencias a instalaciones empleadas en otras unidades de las Fuerzas Armadas Españolas usadas con el mismo propósito que tiene el producto de este trabajo. De esas estructuras se obtienen algunas ideas para el diseño final o se mejoran aspectos. Además de aquellas empleadas para el adiestramiento de Combate en Población, algunas estructuras con otros fines pueden servir de inspiración para resolver problemas encontrados en el diseño.

Requisitos y Condicionantes: Antes de abordar el diseño de la estructura deben considerarse y analizarse los condicionantes existentes, así como los requisitos que debe cumplir el diseño final. Estos aspectos vendrán dados tanto por la Escuela Naval Militar, donde estará ubicada la estructura, como por los ejercicios de adiestramiento en combate en población y MIO.

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de una estructura para realizar prácticas de Combate en Población y MIO en la Escuela Naval Militar, es por esto que dicho diseño debe cumplir una serie de requisitos para que la necesidad sea cubierta de forma satisfactoria.

Debido a que la estructura se pretende construir dentro del recinto de la Escuela Naval Militar, es preciso dedicar un subapartado a analizar las limitaciones que impone esta institución. Así mismo el plan de adiestramiento de los alumnos de Infantería de Marina determina de forma específica las capacidades que debe tener la estructura; por lo que también se analiza.

Diseño: Mediante el análisis de estructuras similares y buscando el cumplimiento de los objetivos, se desarrolla una primera idea de diseño, que luego es mejorada con elementos innovadores para mejorar las prestaciones de la estructura.

Para la representación de los elementos de una forma clara y fácil de modificar se ha recurrido al uso de dos programas informáticos. En primer lugar, se ha empleado SketchUp 2016 para la realización de un modelo tridimensional del diseño final de la estructura. Los elementos más pequeños, como son los acoples entre columnas y paneles y los apoyos de los paneles al suelo, se han realizado con NX 8.5, propiedad de SIEMENS™. Este programa permite la visualización tridimensional de cada pieza, así como la creación de montajes de varias piezas para ver su compatibilidad y funcionamiento.

Comprobación Estructural: Tras definir el diseño del escenario se comprueba si los materiales seleccionados resisten las cargas a las que van a estar sometidos. Usando la normativa del Código Técnico de Edificación se estudia la viabilidad de los elementos estructurales principales (columnas y cables) en los casos más desfavorables

Presupuesto: Como toda propuesta ingenieril, se expone un presupuesto aproximado considerando los costes de compra de los elementos principales: columnas, cables y paneles.

Conclusiones y Líneas futuras: A la finalización del proyecto, se evalúa si se han cumplido los objetivos propuestos y las posibles implicaciones del nuevo diseño. Asimismo se presentan posibles proyectos futuros que continúen con la línea de trabajo y mejoren el escenario propuesto, aumentando sus prestaciones.

Bibliografía: Durante todo el proyecto se han consultado numerosas fuentes de información y se ha hecho referencia a ellas en este documento. Los detalles de las fuentes usadas se recogen en este capítulo.

2 ESTADO DEL ARTE

Todo proyecto que tiene como fin la creación de una nueva solución a un problema existente, precisa de un trabajo de investigación previo. En este capítulo se desarrollan en profundidad los aspectos en los que se ha dividido esta investigación. En primer lugar se hace un análisis de lo que la Armada Española define como Combate en Población y Operaciones de Intervención Marítima, en cuyo ámbito se aplicará el diseño propuesto. Posteriormente se especifica qué es un Escenario para instrucción en Combate en Población y su utilidad.

Por estar el proyecto orientado al desarrollo de una estructura para realizar prácticas de Combate en Población y Operaciones de Intervención Marítima, es preciso desarrollar ambos términos para una mayor comprensión del trabajo por parte de personal ajeno a las Fuerzas Armadas o no familiarizado con este tipo de operaciones.

2.1 Combate en población

El Reglamento de Infantería de Marina D-RIM-351 “El Pelotón de Fusiles” establece que *Las operaciones militares sobre terreno urbano (MOUT) incluyen todas las acciones militares que se planean y ejecutan sobre un terreno complicado y construido por el hombre, lo que influye en las posibilidades del jefe* (2)

2.1.1 Consideraciones tácticas

Se establecen una serie de consideraciones tácticas que todo militar debe tener en cuenta a la hora de realizar combate en zonas urbanizadas. La RIM 351 enumera una serie de puntos, de los que se destacan los siguientes por su implicación directa con el proyecto:

“Las calles, aunque proporcionan un movimiento más rápido, también son sectores de tiro y zonas de muerte”.

“La observación y los campos de tiro están limitados, salvo a lo largo de calles”

“Las paredes, muros y azoteas de los edificios neutralizan los efectos de fragmentación de la munición de artillería, morteros y bombas de aviación y cohetes;”

“En lo que concierne a observación y campos de tiro, la ocupación y control de plantas elevadas y tejados ofrecen una ventaja tanto al atacante como al defensor”

“El movimiento en zonas despejadas debe limitarse. La velocidad, agresividad y astucia son fundamentales para lograr el cumplimiento de la misión”

“Las comunicaciones radio se verán afectadas por el efecto pantalla de los edificios”

De los dos primeros puntos se extrae el alto riesgo que suponen los movimientos dentro de áreas urbanas debido a la falta de cubierta en calles y pasillos.

La tercera consideración determina la necesidad de entrar en los edificios para limpiar la zona de enemigos debido a la falta de eficacia de los fuegos de apoyo.

En el cuarto punto se establece la ocupación de los edificios, en particular de las zonas elevadas, como una condición clave indispensable para el control del área urbana.

Como se menciona en los dos últimos puntos, las actuaciones dentro de zonas urbanas, especialmente en edificios, deben realizarse de forma rápida y coordinada. Esta condición, sumada a la falta de comunicaciones, hace que sea necesario un alto nivel de adiestramiento en escenarios de todo tipo.

2.1.2 Fases del combate en población

El combate en una zona urbana o combate en población es un proceso complejo que se divide en tres fases distintas:

- ✓ La primera fase trata del control y establecimiento de seguridad en el perímetro de la zona urbana
- ✓ La segunda fase se refiere al asalto contra las posiciones defensivas enemigas que bloquean los accesos a la zona.
- ✓ La tercera fase se compone del procedimiento de limpieza progresiva y coordinada de los diferentes edificios.

La tercera fase es la única relevante para el desarrollo del proyecto, ya que es la que se realiza en los escenarios que van a simularse con la estructura. Asimismo esta fase se divide principalmente en el movimiento por las calles y la limpieza interior de los edificios, cuyos procedimientos se describen a continuación.

Procedimiento de movimiento por exteriores

Durante el movimiento por las calles, la unidad debe apuntar y mirar en todas direcciones mientras avanza pegada a uno de los lados de la calle. Se dividen los 360° en torno a los miembros del equipo que está realizando el movimiento.

La unidad mínima para conformar un equipo se denomina escuadra y está compuesta por 4 hombres. En algunas situaciones los equipos estarán compuestos por 6 u 8 hombres, en función de diversos factores, como la disponibilidad de personal, la fuerza enemiga en la zona, la complejidad del movimiento, etc. En el caso de un equipo de 8 hombres se denominaría “Pelotón” y estaría formado por dos escuadras.

Cada porción de los 360° que le corresponde cubrir a cada miembro del equipo se denomina “sector”. El tamaño y la orientación de cada sector depende de cada caso, a continuación se muestran los más comunes:

- Para el caso de 4 hombres, se numeran 1, 2, 3, 4, del primero al último, como muestra la Figura 2-1:
 1. Cubre la vanguardia.
 2. Cubre los edificios de enfrente.
 3. Cubre las alturas de la pared del edificio por el que avanza el equipo.
 4. Cubre la retaguardia.

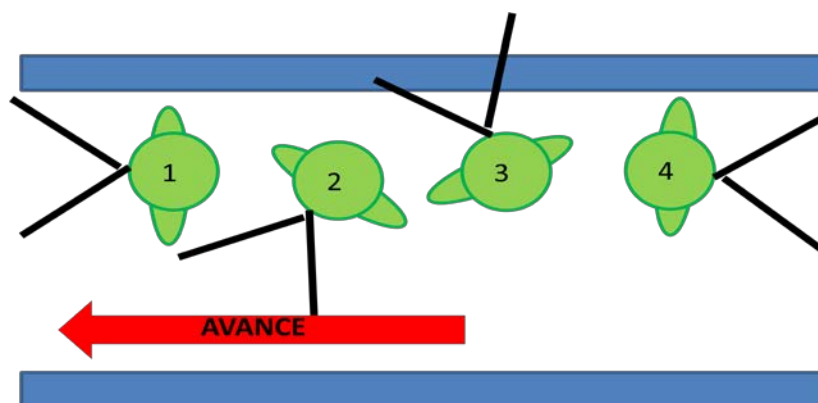


Figura 2-1. Movimiento por exteriores para equipo de 4 hombres (2)

- Para el caso de 6 hombres, se numeran 1, 2, 3, 4, 5, 6, del primero al último, como muestra la Figura 2-2:
 1. Cubre la vanguardia.
 2. Apoya al número 1 y cubre los edificios del lado opuesto.
 3. Cubre las alturas del edificio por el que avanza el equipo.
 4. Cubre la pared del edificio por el que avanza el equipo.
 5. Apoya al número 6 y cubre los edificios del lado opuesto.
 6. Cubre la retaguardia.

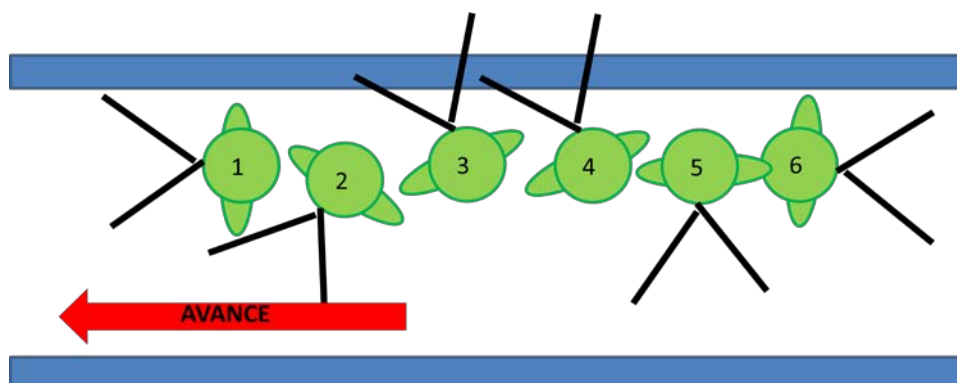


Figura 2-2 Movimiento por exteriores para equipo de 6 hombres (2)

- Para el caso de un equipo de 8 hombres, cuando se unen dos escuadras, se numeran 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, del primero al último Figura 2-3:
1. Cubre la vanguardia.
 2. Apoya al número 1 para cubrir la vanguardia separándose ligeramente de la pared.
 3. Cubre los edificios del lado opuesto
 4. Cubre las alturas de los edificios del lado opuesto.
 5. Cubre las alturas del edificio por el que avanza el quipo.
 6. Cubre la pared del edificio por el que avanza el equipo.
 7. Apoya al número 8 para cubrir la retaguardia separándose ligeramente de la pared.
 8. Cubre la retaguardia.

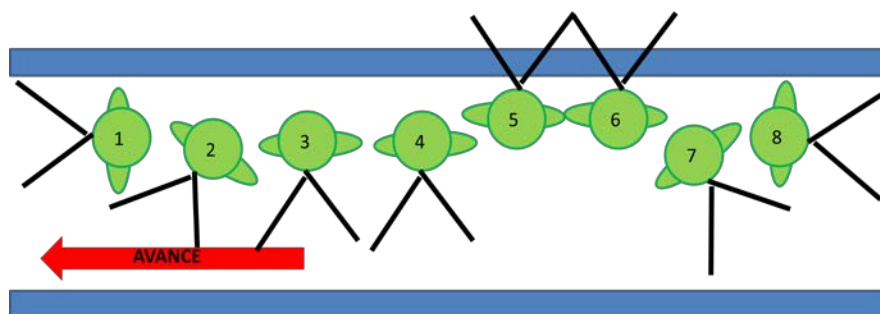


Figura 2-3 Movimiento por exteriores para equipo de 8 hombres (2)

Además de estos casos, se plantean diferentes tipos de cruces de calles en forma de cruz y en forma de T. Pero no serán de estudio en este proyecto para no incrementar el contenido de la memoria en exceso. Para más información véase (2)

Procedimientos de limpieza interior de edificios

Tras realizar el movimiento en el exterior de los edificios se procede al interior de los mismos, para lo cual se emplean técnicas específicas de movimiento. Debido a que no se debe perder el ímpetu de la acción durante la última fase, las unidades deben ser capaces de realizar los movimientos de manera instintiva sea cuál sea la configuración interior de la planta. Es necesario un intenso proceso de instrucción y adiestramiento con diferentes disposiciones de habitaciones, puertas y pasillos.

La entrada por binomios se realiza mediante dos movimientos básicos conocidos como “bastón” (mostrado en la Figura 2-4) y “cruzado” (mostrado en la Figura 2-5)

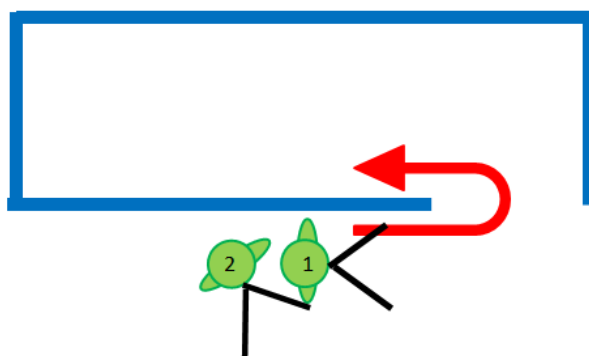


Figura 2-4 Movimiento en “Bastón” para combate en población(2)

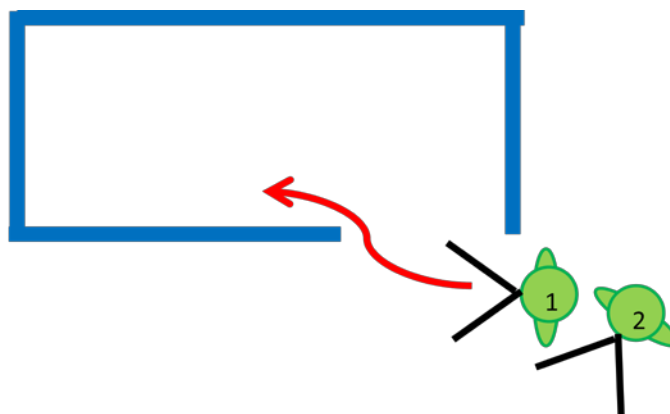


Figura 2-5 Movimiento de “Cruzado” para combate en población (2)

Las diferentes combinaciones de estos dos movimientos dependerán de la disposición de la habitación y de los miembros del equipo. Los casos más genéricos y que deberán practicarse son los siguientes:

- A. Los miembros del equipo se posicionan uno a cada lado de la puerta y ésta se encuentra en una posición centrada en la habitación. En este caso ambos entran con el movimiento “cruzado” para cubrir la estancia (véase Figura 2-6)

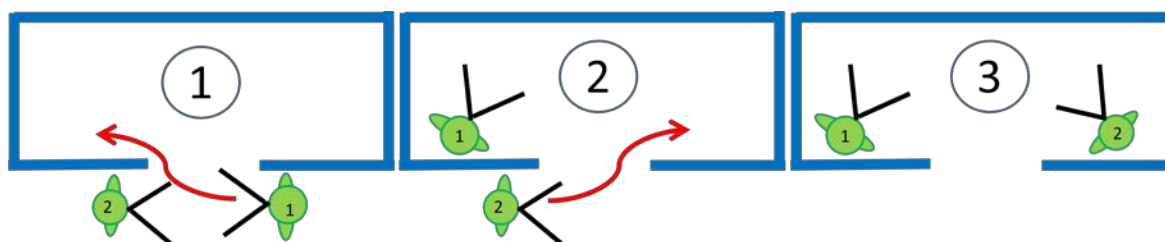


Figura 2-6 Entrada doble cruzado (2)

- B. Los miembros del equipo se posicionan en el mismo lado de la puerta y ésta se encuentra en un lado de la habitación. El procedimiento habitual se realiza entrando el primero en un movimiento de “cruzado” y el segundo en un movimiento de “bastón”, como se ve en la Figura 2-7.

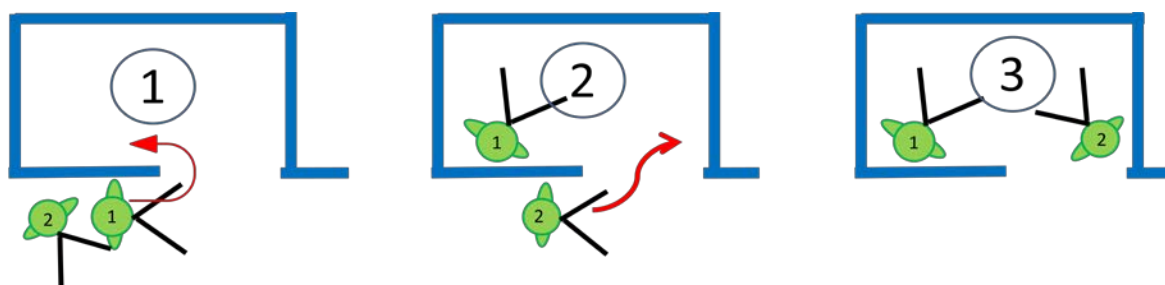


Figura 2-7 Entrada cruzado-bastón (2)

- C. En uno de los casos anteriores el primer hombre encuentra un pasillo al otro lado de la sala. En esta situación ese miembro del equipo se quedaría cubriendo la entrada del pasillo mientras su compañero realizaría un movimiento en bastón para cubrir el resto de la sala, como se ve en la Figura 2-8.

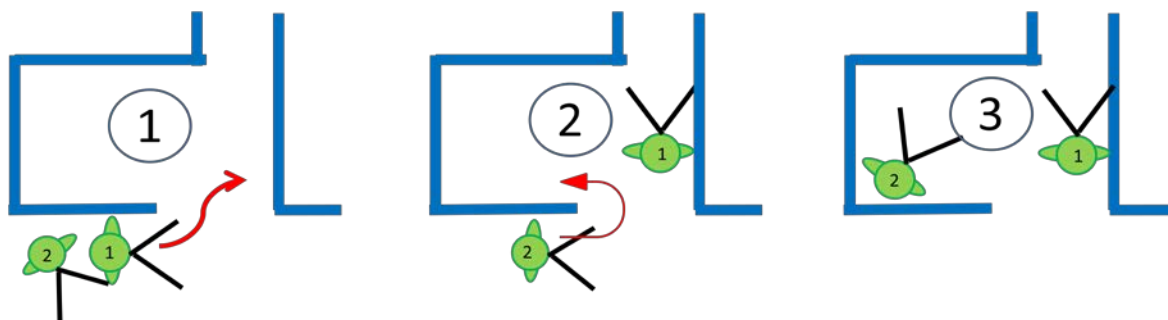


Figura 2-8 Entrada en estancia con pasillo (2)

Para el reconocimiento de pasillos con varias estancias se aplican los procedimientos de avance por una calle exterior, efectuando el registro en cada habitación por binomios de la forma mostrada anteriormente.

Los casos mostrados son los básicos, a los que se añaden aquellos movimientos realizados por escaleras y rellanos, que no se estudiarán para no aumentar el contenido de la memoria de forma excesiva. Para más información véase (2)

2.1.3 Operaciones de Interdicción Marítima

Las MIO (Maritime Interdiction Operations) están definidas por la OTAN como un pilar fundamental de su estrategia en Seguridad Marítima, junto con la Vigilancia Marítima y la Comunicación de Información entre países aliados. (3).

El objetivo de estas operaciones es garantizar la seguridad del tráfico marítimo interviniendo los buques que pueden resultar sospechosos de estar realizando actividades ilegales. Los registros se llevan a cabo por unidades a bordo de los buques de las Armadas o Marinas de los países miembros. En función de la actitud y el comportamiento de la tripulación del buque a abordar, se le asigna una clase y se determina la entidad de la unidad que efectúa el registro.

Cooperativo: La tripulación del buque a abordar facilita la aproximación del equipo que va a efectuar el registro y la realización del mismo. Es realizado por miembros de la dotación del buque que aborda, conformando lo que se denomina Trozo de Visita y Registro (TVR).

No Cooperativo sin Oposición: La tripulación del buque a abordar no facilita la aproximación del equipo ni la realización del registro. Sin embargo, tampoco muestra una actitud hostil hacia los miembros del equipo. Es realizado por un Trozo de Visita y Registro (TVR) de miembros de la dotación, reforzado por un Equipo Operativo de Seguridad (EOS) de Infantes de Marina.

No Cooperativo con Oposición: La tripulación del buque a abordar no facilita el registro y muestra una actitud hostil para evitar la aproximación y la realización de la inspección. Es realizado únicamente por equipos de Operaciones Especiales debido a la dificultad y al elevado nivel de riesgo.

Durante la inspección del barco a abordar se realizan movimientos similares a los del combate en zona urbana, por lo que la velocidad y un alto grado de sincronización son factores clave para el éxito de la operación. Es por esto que el adiestramiento de las unidades en tierra, debe realizarse en estructuras que permitan simular las diferentes disposiciones que se dan en el interior de los buques.

2.2 Escenarios para práctica de Combate en Población

Como se ha visto en apartados anteriores, el nivel de complejidad de las Operaciones en Zonas Urbanizadas requiere de un adiestramiento intenso y constante en escenarios similares a los reales. En la mayoría de los casos las prácticas se realizan en instalaciones en desuso o en construcciones que imitan poblaciones de la zona en la cual se van a desarrollar las operaciones. Además de aumentar el nivel de adiestramiento en los procedimientos existentes, la realización de ensayos en estructuras similares permite la creación de nuevas técnicas o la mejora de las existentes.

En líneas generales, se pueden establecer una serie de ventajas e inconvenientes del uso de las estructuras empleadas para prácticas de combate en población.

Ventajas del uso de escenarios para Combate en Población

- Incrementan el nivel de coordinación entre los miembros del equipo.
- Aumentan el grado de sistematización de los procedimientos, reduciendo el tiempo de realización de los mismos.
- Permiten probar la eficacia de los procedimientos existentes.
- Pueden dar lugar a nuevas mejoras y a la creación de técnicas más efectivas.
- Mejoran la ambientación de la unidad antes de entrar en la zona de operaciones.

Inconvenientes del uso de escenarios para Combate en Población

- Tienen un coste económico elevado si son instalaciones de nueva construcción.
- Representan un riesgo para la seguridad del personal si se trata de instalaciones antiguas en desuso.
- Si no se modifican con frecuencia, pueden dar lugar a la pérdida de flexibilidad y capacidad de adaptación del equipo ante escenarios diferentes.
- La mayoría son solo válidas para un número limitado de tipos de poblaciones, por lo que necesitan modificaciones cuando se trata de un conflicto en otra región.

Por estos motivos, se pueden encontrar multitud de ejemplos de escenarios para prácticas de combate en población en los diferentes acuartelamientos militares. Los factores más determinantes para diferenciarlos son el coste y la modularidad, ya que un mayor coste implica un mayor grado de realismo y un diseño más complejo permite practicas en diferentes situaciones.

En el siguiente subapartado se describen y analizan algunos ejemplos de escenarios empleados por unidades de las Fuerzas Armadas Españolas.

2.2.1 Ejemplos de Escenarios de Combate en Población

Cada país destina un porcentaje distinto de su PIB al presupuesto de defensa y también interviene en operaciones en distintas regiones del mundo, por lo que es lógico encontrar diferencias entre las instalaciones empleadas en distintos países para la realización de la misma actividad: adiestrar a sus fuerzas armadas en el combate. Dentro del mismo país, los diferentes Ejércitos (Tierra, Armada y Aire) pueden emplear distintas instalaciones en sus acuartelamientos. Tanto las unidades de Infantería de Marina en la Armada, como las unidades de Infantería del Ejército de Tierra, emplean escenarios para prácticas de combate en población e incluso, en algunos casos, los comparten.

Base General Morillo

Como se menciona en el Apartado 1.1 los alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar empleaban las instalaciones del Ejército de Tierra en la Base General Morillo para sus prácticas de Combate en Población hasta el curso 2013/2014. Esto era posible gracias a que la base está ubicada en la localidad de Figueirido, cercana a la ENM. Dichas instalaciones estaban compuestas por una calle con edificios de dos plantas (véase Figura 2-9) y construcciones de hormigón que simulaban un poblado afgano (véase Figura 2-10). Además de las dos construcciones la base cuenta con un simulador de tiro en combate urbano (véase Figura 2-11), aunque no era usado por los alumnos de la Escuela Naval Militar.



Figura 2-9 Ejercicio en el escenario de la calle con edificios de dos plantas de la BRILAT GALICIA VII ((4))



Figura 2-10 Ejercicio en poblado afgano de la BRILAT GALICIA VII (4)



Figura 2-11 Simulador de tiro en combate urbano de la BRILAT GALICIA VII (4)

Al estar construidas con materiales semejantes a los empleados en los escenarios reales a los que imitan, las dos primeras instalaciones tienen un alto nivel de realismo, ya que las actividades que se pueden realizar en ellas son las mismas que se llevarían a cabo en una operación real. Sin embargo, de las tres instalaciones, sólo el simulador permite variaciones, ya que las otras dos construcciones están hechas de hormigón y cualquier modificación sería costosa y permanente. Por lo tanto los ejercicios se vuelven repetitivos y los usuarios cuentan con un grado de conocimiento del escenario que no tendrían en una situación real.

Campo de Maniobras y Tiro “Los Alíjares”

La Academia de Infantería de Toledo también cuenta con diversas instalaciones para prácticas de combate en población en el Campo de Tiro y Maniobras Los Alíjares (5), que se encuentra ubicado en unos terrenos adyacentes a la academia. Los diferentes escenarios se reparten dentro del área representada por una foto aérea en la Figura 2-12, dónde aparecen numerados.



Figura 2-12 Zona de instalaciones de combate en población en CMT “Los Alíjares” (5)

La instalación conocida como “Barrio Nuevo” (véase Figura 2-13), ubicada en la Figura 2-12 con el número 1, está formada por contenedores metálicos y planchas de metal, simulando tres calles con edificios de dos plantas y un poblado de calles irregulares con edificios de una planta. El empleo de contenedores metálicos permite cierta modularidad al poder modificarse el escenario si se dispone de la maquinaria necesaria. Sin embargo, las posibilidades de diseño están limitadas por las dimensiones y la forma de los contenedores.



Figura 2-13 Barrio nuevo en CMT Alíjares (5)

La instalación conocida como “Barrio gris” (véase Figura 2-14) está ubicada en el CMT “Los Alíjares” en la zona señalada por el número 2 en la Figura 2-12. El escenario representa una calle inclinada con edificios de una planta construidos en hormigón. Los edificios son de una o dos habitaciones, por lo que el principal propósito de la instalación es la práctica de movimientos exteriores en zonas urbanizadas. Al estar fabricado en hormigón, no permite modificaciones sin necesidad de obras.



Figura 2-14 Barrio gris en CMT Alíjares ((5))

La instalación “El colegio”, ubicada en el número 3 en la imagen satélite de la Figura 2-12, es un único edificio de dos plantas con ventanas, puertas, habitaciones, terrazas y escaleras, como se ve en la Figura 2-15. Esta construcción permite la práctica de todos los procedimientos de movimiento por interiores de combate en población, sin embargo, al ser un edificio antiguo que había quedado en desuso, no admite modificaciones.



Figura 2-15 Colegio en CMT Alíjares (5)

La instalación de “Barrio rojo” (véase Figura 2-16) es una construcción de ladrillo en pendiente inclinada diseñada para la práctica de los procedimientos de movimiento por interior de edificaciones. Está señalada con el número 4 en la Figura 2-12. Además de las puertas de acceso al exterior, cuenta con un pasillo central y numerosas habitaciones a ambos lados con distintas configuraciones. Aunque permite practicar los diferentes tipos de movimiento, su construcción no permite ningún tipo de modificación no permanente.



Figura 2-16 Barrio rojo en CMT Alíjares (5)

La edificación “El Cortijo” (véase Figura 2-17) ubicada en el CMT Alíjares y situada en la Figura 2-12 con el número 5 es un complejo antiguo empleado para las prácticas de combate en población. Permite la realización de ejercicios ambientados en zonas rurales aunque no admite modificaciones. Dado el estado en el que se encuentra la edificación, existen algunas zonas a las que no está permitido acceder por razones de seguridad.



Figura 2-17 Cortijo en CMT Alíjares (5)

La instalación “El laberinto” es una disposición de paredes de hormigón, como se observa en la Figura 2-18, que se emplea para el adiestramiento en movimiento por interiores de edificios según los procedimientos de combate en población. Se encuentra marcada por el número 6 en la Figura 2-12. Al ser una estructura sin cubierta, se puede modificar fácilmente derribando una pared, aunque el tiempo y el coste económico que requiere hacen que esto no se pueda realizar con frecuencia.



Figura 2-18 Laberinto en CMT Alíjares (5)

El “Alcantarillado”, ubicado con el número 7 en la Figura 2-12, es un entramado de túneles subterráneos en los que se realizan prácticas de movimientos en el interior de zonas estrechas y oscuras, empleando medios de visión nocturna y procedimientos similares a los de combate en población. Su construcción no admite modificaciones ni la realización de ejercicios distintos a los mencionados.



Figura 2-19 Alcantarillado en CMT Alíjares (5)

La instalación más reciente en el CMT Alíjares es la “Casa modular” (véase Figura 2-20), señalada con el número 8 en la Figura 2-12. Es el escenario con mayor grado de modificación ya que tiene unos paneles metálicos que se pueden poner y quitar en diferentes huecos para modificar la disposición del escenario. El edificio cuenta además con una pasarela elevada desde la cual los instructores pueden supervisar la realización del ejercicio e indicar las correcciones oportunas.



Figura 2-20 Casa modular en CMT Alíjares (5)

Como se observa, la mayoría de las construcciones son fijas o semifijas. En los casos del Alcantarillado (Figura 2-19) y el Cortijo (Figura 2-17) son construcciones antiguas que se emplean para la instrucción por haber quedado en desuso. De estas instalaciones, la que presenta un mayor grado de flexibilidad es la Casa Modular (Figura 2-20), sin embargo las modificaciones que se pueden hacer se basan únicamente en habilitar o deshabilitar puertas. Un aspecto destacable de esta instalación es la pasarela elevada sobre la estructura, ya que permite la observación de los ejercicios.

Base Militar “El Goloso”

Ubicada en la provincia de Madrid, la Base Militar “El Goloso” del Ejército de Tierra dispone de varios simuladores para el adiestramiento en el tiro de combate y de un escenario modular para combate en población denominado “La casa de Tela” (véase Figura 2-21).



Figura 2-21 La casa de tela en El Goloso (6)

Este escenario permite una gran versatilidad y sencillez para modificar la disposición de la estructura con un bajo coste. Sin embargo, esto es en detrimento del realismo y de la resistencia frente a impactos y condiciones meteorológicas de fuertes vientos.

2.3 Estructuras similares con otras aplicaciones

Aunque no se empleen para el adiestramiento en ejercicios de combate en población, existen diferentes estructuras de las que se podrían extraer ideas que contribuyeran a la solución final de este proyecto. Algunas de ellas están presentes en la Escuela Naval Militar y otras se encuentran en el mundo civil.

Gradas Escuela Naval Militar

Para diversos actos que se desarrollan en la Escuela Naval Militar se montan una serie de gradas para el público. Estas estructuras están formadas por columnas metálicas apoyadas en el suelo con un apoyo libre y permiten su fácil montaje sin necesidad de herramientas especializadas o personal altamente cualificado, algo que puede ser empleado como apoyo del escenario que se diseña en este proyecto (véase Figura 2-22)



Figura 2-22 Fotografía de las gradas de la ENM

Red de seguridad del palo de señales en la Escuela Naval Militar

Debido a las actividades realizadas en la parte alta del palo de señales, éste cuenta con una red de seguridad dispuesta sobre una serie de columnas metálicas que conforman una cuadrícula. Estas columnas son equidistantes entre sí una distancia de 4 metros y cuentan con cables tensores entre ellas y hacia el suelo. De esta forma se crea una estructura estable con mucho espacio libre entre sus elementos, como se puede ver en la Figura 2-23.



Figura 2-23 Fotografía de la red de seguridad del palo de señales de la ENM

Acople de pala del timón para embarcación Snipe

Este tipo de embarcaciones empleadas para la vela ligera cuentan con un sistema de dos tetones para acoplar la pala del timón de forma rápida y que resista esfuerzos axiales (véase Figura 2-24). Este sistema puede ser empleado para el montaje y desmontaje de paredes que dieran versatilidad a una estructura para combate en población.



Figura 2-24 Fotografía de sujeciones de la pala del timón de embarcación Snipe

Paneles en parques infantiles

Los parques infantiles modernos cuentan con una serie de paneles de madera recubiertos con capas de diferentes materiales (véase Figura 2-25), que le confieren una gran resistencia a impactos y frente a agentes meteorológicos. Estas propiedades serían necesarias para un panel situado en un escenario de combate en población que va estar ubicado en exteriores y en zonas con humedad elevada.



Figura 2-25 Paneles MDF en parque infantil (7)

3 REQUISITOS Y CONDICIONANTES DE DISEÑO

En este apartado se desarrollan aquellos requisitos debidos al uso que va a tener la estructura en las prácticas de combate en población y MIO, clasificados capacidades básicas y capacidades accesorias, en función de si son requisitos indispensables o tan solo supondrían un importante avance en prestaciones respecto a otras estructuras desarrolladas en el apartado 2.2.1. Posteriormente se desarrollan los condicionantes impuestos a la estructura por la Escuela Naval Militar, clasificados en función de si son debidos a las dimensiones, los materiales o las condiciones atmosféricas.

3.1 Requisitos para su uso

Las capacidades que debe tener la estructura quedan divididas entre básicas y accesorias, en función del grado de importancia que tienen para que la estructura sea utilizada con el fin propuesto.

3.1.1 Requisitos básicos

Dado que la estructura pretende simular escenarios urbanos o de interior de buques, se establece como primer requisito básico que pueda adoptar una disposición similar a los escenarios mencionados. Es decir, debe materializar de manera aproximada puertas, pasillos y habitaciones con las dimensiones que tendrían estos elementos en un edificio o en un buque. El valor mínimo del escenario es el correspondiente a una habitación de una planta de 5x5 metros con un lugar de acceso. Los valores más comunes en las dimensiones de los pasillos son de una altura que oscila entre 2.2 y 2.5 metros y una anchura de entre 1.2 y 1.5 metros según (8).

Debido a la gran variedad de posibles combinaciones que se pueden dar en el interior de un edificio, es necesario que la estructura permita realizar modificaciones a su disposición. Por lo tanto deberá ser modular.

Durante los movimientos en el interior de los edificios los miembros del equipo actúan de manera rápida y enérgica, por lo que la estructura debe ser capaz de resistir los esfuerzos debidos a su uso en los ejercicios además de los derivados de la propia estructura y las condiciones ambientales. Los valores de las cargas estimadas se desarrollan en el Apartado 5.1

Para evitar desgaste innecesario y aportar flexibilidad a la dirección de la Escuela Naval Militar, la estructura debe poder desmontarse en un plazo inferior a 24 horas. Durante largos periodos de tiempo en los que no se use, principalmente en los permisos de Verano y Navidad, los elementos se almacenarán en algún pañol de la ENM a fin de reducir su desgaste por las condiciones ambientales. Debido al reducido espacio del que dispone la ENM, puede darse el caso en que sea necesario desmontar la estructura de forma puntual para que el terreno ocupado se use con otros fines.

3.1.2 *Requisitos accesorios*

A fin de simplificar el montaje y desmontaje de la instalación y la aplicación de las modificaciones necesarias, el diseño puede incluir unos nuevos elementos de anclaje entre los elementos que se adapten mejor a la estructura que los ya existentes en el mercado. Los nuevos elementos no son indispensables para el uso de la estructura, pero proporcionan una mejora sustancial en la calidad de la misma.

Para mejorar el grado de realismo y versatilidad de la estructura se establece como objetivo accesorio la posibilidad de instalar entradas, puertas, marcos de puertas y huecos de escotillas. Estos elementos aportan una mayor similitud con los edificios reales, lo que deriva en un mejor adiestramiento en un momento crítico como es el cruce de una puerta. La diferencia fundamental radica en las dimensiones y la forma, ya que una escotilla tiene un tamaño menor que una puerta y su contorno es ovalado, mientras que la puerta es rectangular. De igual forma, el ancho del hueco de una puerta es inferior al ancho de un pasillo, lo que implica una diferencia en el movimiento a realizar para franquearlo.

También en relación con el realismo, tener la capacidad de crear habitaciones de diferentes tamaños y poder situarlas en cualquier lugar de la estructura supone una mejora sustancial respecto a otras estructuras empleadas para prácticas de combate en población. Esto no es un requisito indispensable, ya que se pueden disponer habitaciones fijas en las que se modifiquen los puntos de entrada o los pasillos que acceden a ellas, sin embargo aporta más flexibilidad a los instructores a la hora de diseñar los diferentes escenarios.

A modo de resumen, se enumeran los diferentes requisitos para su uso en la Tabla 3-2.

REQUISITOS BÁSICOS	REQUISITOS ACCESORIOS
Representar escenarios de interiores de edificios y buques	Incluir elementos de anclaje adaptados para facilitar su montaje
Ser parcial o totalmente modular	Permitir el uso de puertas y escotillas
Resistir las cargas derivadas de su uso y ambientales	Permitir la creación de estancias de diferentes tamaños en cualquier lugar de la estructura
Ser desmontable en menos de 24h	
Tener una planta mínima de 5x5 metros	
Pasillo de 2.2x1.2 metros	

Tabla 3-1 Requisitos de diseño para uso

En este apartado se analizan las posibles ubicaciones y se muestran las ventajas e inconvenientes de cada una en relación a la construcción de un escenario para prácticas de MOUT y MIO que sea modular y fácilmente desmontable

La **ZONA 1** está ubicada en el sector Oeste del recinto de la Escuela Naval Militar, junto a los lugares donde se realizan las practicas de control de inundaciones y lucha contra incendios. Como se observa en la Figura 3-3, esta zona ofrece una superficie de 28x28 metros en un terreno con vegetación baja fácilmente explanable. En la Tabla 3-2 se exponen las ventajas e inconvenientes de esta localización.



Figura 3-3 Dimensiones de la Zona 1 (1)

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Dimensiones adecuadas	Cercanía a zona de prácticas de contraincendios
Fácil explanación	Montaje limitado por muros adyacentes
Fácil acceso de vehículos para transporte y montaje.	Poco resguardo frente a vientos
Posibilidad de observación elevada desde el Sur	Posibilidad de corrosión por cercanía al mar
Zona actualmente sin uso establecido	Presencia de vegetación baja
Discreción de las actividades frente a población civil	

Tabla 3-2 Ventajas e Inconvenientes Zona 1

La **ZONA 2** está ubicada en el sector Oeste del recinto de la Escuela Naval Militar, junto a los edificios de Factoría y la pista de aterrizaje de helicópteros. Como se observa en la Figura 3-4, esta zona ofrece una superficie de 28x28 metros en un terreno con poca vegetación y plano. En la Tabla 3-3 se exponen las ventajas e inconvenientes de esta localización.



Figura 3-4 Dimensiones Zona 2 (1)

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Dimensiones adecuadas	Fuertes vientos debidos a los helicópteros
Fácil explanación	Interferencia con competición de lanzamiento de granadas
Fácil acceso de vehículos para transporte y montaje.	Poco resguardo frente a vientos
No presencia de vegetación	Posibilidad de corrosión por cercanía al mar
Zona actualmente sin uso establecido	
Discreción de las actividades frente a población civil	
Montaje libre sin limitación de espacio	

Tabla 3-3 Ventajas e Inconvenientes de la Zona 2

La **ZONA 3** está ubicada en el sector Oeste del recinto de la Escuela Naval Militar, junto a las pistas de obstáculos para Pentatlón Militar y Pentatlón Naval, ambos deportes practicados en la ENM. Como se observa en la Figura 3-5, esta zona ofrece una superficie de 32x47 metros en un terreno con poca vegetación y plano. En la Tabla 3-4 se exponen las ventajas e inconvenientes de esta localización.



Figura 3-5 Dimensiones Zona 3 (1)

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Dimensiones adecuadas	Fuertes vientos debidos a los helicópteros
Fácil explanación	Poco resguardo frente a vientos
No presencia de vegetación	Difícil acceso de vehículos para montaje y transporte
Zona actualmente sin uso establecido	Posibilidad de corrosión por cercanía al mar
Discreción de las actividades frente a la población civil	Presencia de focos en el centro de la zona

Tabla 3-4 Ventajas e Inconvenientes Zona 3

La **ZONA 4** está ubicada en el sector Oeste del recinto de la Escuela Naval Militar, junto a las pistas de obstáculos para Pentatlón Militar y Pentatlón Naval. Como se observa en la Figura 3-6, esta zona ofrece una superficie de 18.5x30 metros en un terreno que se encuentra ya explanado con una losa de hormigón. En la Tabla 3-5 se exponen las ventajas e inconvenientes de esta localización.

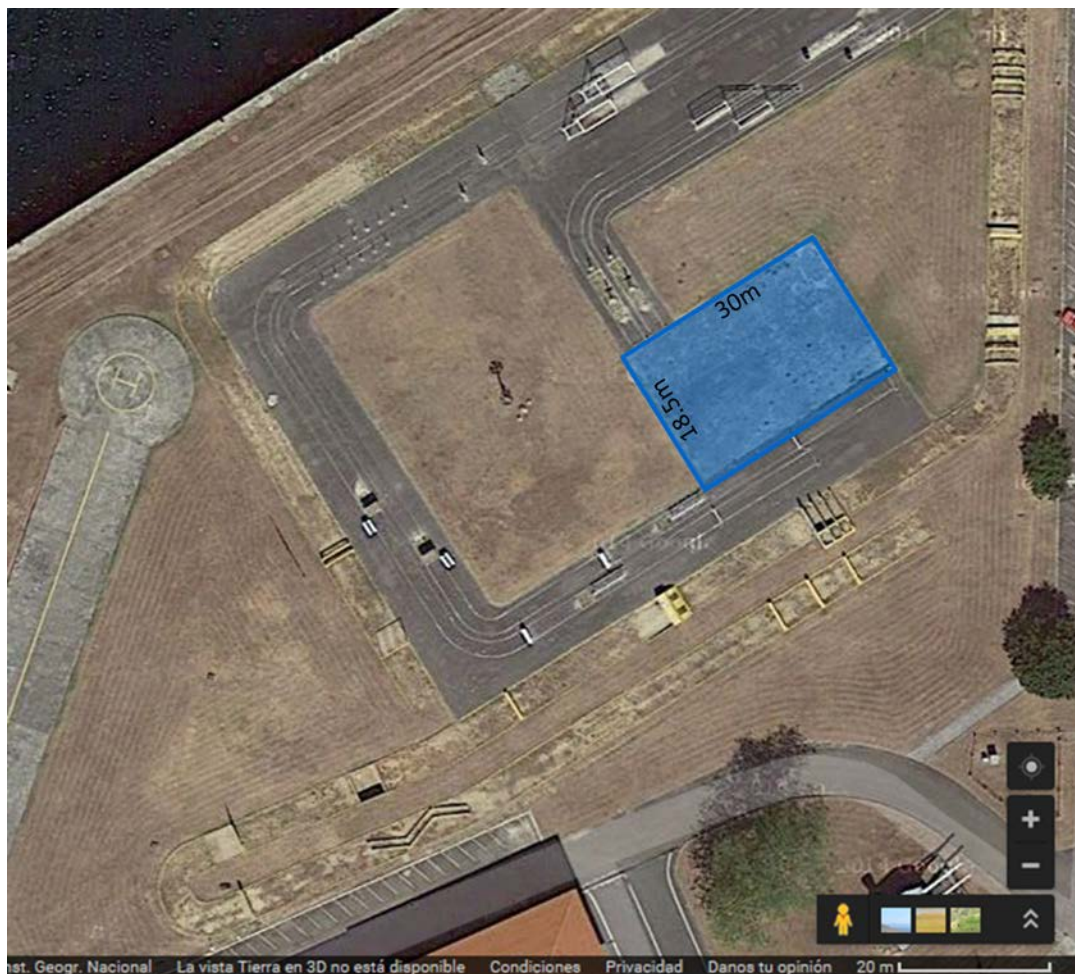


Figura 3-6 Dimensiones Zona 4 (1)

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Dimensiones adecuadas	Fuertes vientos debidos a los helicópteros
Explanación ya realizada	Poco resguardo frente a vientos
Cimentado de hormigón ya realizado	Difícil acceso de vehículos para montaje y transporte
Zona actualmente sin uso establecido	Posibilidad de corrosión por cercanía al mar
Discreción de las actividades frente a la población civil	Dimensiones menores que en otras zonas

Tabla 3-5 Ventajas e Inconvenientes Zona 4

La **ZONA 5** está ubicada en las inmediaciones de la entrada principal de la Escuela Naval militar, rodeada por la pista de atletismo. Como se observa en la Figura 3-7, esta zona ofrece una superficie de 55x78 metros en un terreno con poca vegetación y plano. En la Tabla 3-6 se exponen las ventajas e inconvenientes de esta localización.



Figura 3-7 Dimensiones Zona 5 (1)

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Dimensiones adecuadas	Poca discreción de las actividades frente a la población civil
Fácil explanación	Poco resguardo frente a vientos
Fácil acceso de vehículos para montaje y transporte	Pérdida del terreno para la realización de competiciones deportivas
Dimensiones mayores que en otras zonas	Posibilidad de corrosión por cercanía al mar
Resguardo frente a vientos del Oeste	

Tabla 3-6 Ventajas e Inconvenientes Zona 5

Además de las cinco zonas existentes dentro del recinto de la ENM, existe una sexta zona disponible ubicada en el destacamento de “Penizas” cercano a la población Currás, situada a 3 km de la puerta oeste o puerta de “Torpedos”. En la Figura 3-8 se observa una vista aérea que abarca la Escuela Naval Militar (señalada con el marcador rojo) y la ubicación de la Zona 6 (indicada por el círculo rojo)



Figura 3-8 Vista aérea Zona 6 y ENM (1)

La **ZONA 6** está ubicada en el destacamento de “Penizas” junto a los dos edificios existentes. Como se observa en la Figura 3-9, esta zona ofrece una superficie de 24x35 metros en un terreno con abundante vegetación baja, una franja de árboles y un desnivel del 5% en algunas partes. En la Tabla 3-7 se exponen las ventajas e inconvenientes de esta localización.



Figura 3-9 Dimensiones Zona 6 (1)

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Dimensiones adecuadas	Poca discreción de las actividades frente a la población civil
Menor posibilidad de corrosión	Necesidad de explanación por desnivel
Fácil acceso de vehículos para montaje y transporte	Abundante presencia de vegetación y árboles
	Necesidad de instalar medidas de seguridad
	Mayor distancia a la ENM

Tabla 3-7 Ventajas e Inconvenientes Zona 6

3.2.2 *Materiales*

Los materiales empleados principalmente en construcciones se dividen en metales, maderas y hormigón. Un estudio de las propiedades que nos ofrecen y de las que son necesarias en el proyecto, permite determinar los materiales a emplear en el escenario. Dadas las condiciones de humedad y alto porcentaje de lluvia en la Escuela Naval Militar, los materiales de los que esté compuesta la estructura deben mostrar gran resistencia al agua, para el caso de las maderas y gran resistencia a la oxidación, para el caso de los elementos metálicos.

Maderas

Existen una gran variedad de tipos de madera, cada uno con unas propiedades determinadas, pero la principal característica es que son fáciles de trabajar y ofrecen unos valores de resistencia medios. Sin embargo, en situaciones de humedad, los elementos de madera sufren una reducción de su resistencia. En la actualidad existe un material mixto formado por un núcleo de fibras de madera y un revestimiento de capas de otros materiales que le confiere, entre otras cosas, una mayor resistencia a la humedad (9). Estos materiales son los tableros de fibra de media densidad (MDF por sus siglas en inglés) y ofrecen mejores prestaciones que los tableros de madera maciza manteniendo la facilidad de trabajo.

Metales

Los metales ofrecen una gran resistencia mecánica sin precisar un gran tamaño, por lo que son idóneos en construcciones en las que se requiera mucho espacio libre, como es el caso de este proyecto. Existen una gran variedad de perfiles y formas por lo que se pueden seleccionar las que mejor se adapten a las necesidades del diseño. Otra gran ventaja es que son fáciles de desmontar y almacenar. Sin embargo, es importante considerar que al encontrarse tan próximas al mar, cualquiera de las zonas propuestas presenta una alta concentración de agentes oxidantes en el aire. Por lo tanto, si se emplean elementos metálicos deben ser de acero inoxidable.

Hormigón

Los elementos de hormigón presentan una gran resistencia a esfuerzos de compresión y tienen una gran durabilidad en ambientes húmedos. Como se ha visto en el apartado 2.2.1, son comúnmente empleados para la construcción de escenarios de combate en población, sin embargo no ofrecen buenas propiedades para modularidad y facilidad de montaje y desmontaje.

3.2.3 *Condicionantes atmosféricos*

Según (10) las construcciones están influidas por tres acciones meteorológicas: viento, nieve y lluvia. Por lo que se debe estudiar la presencia de estos fenómenos en la ubicación de la Escuela Naval Militar y determinar su efecto sobre la estructura en función de los valores obtenidos y la normativa.

Viento

La acción del viento se transmite a la estructura como fuerzas perpendiculares de presión o succión. El valor de la fuerza depende de la superficie expuesta, su orientación frente al viento y la velocidad del viento. Según la AEMET (11), la racha máxima de velocidad registrada en Pontevedra, que es la estación más cercana a la ENM, desde 1986 es de 115km/h, que es el valor a considerar para el estudio del efecto del viento.

Nieve

La acumulación de nieve sobre la edificación produce un aumento de la carga que debe soportar. Este incremento se produce en función de la cantidad de nieve y la forma de la cubierta. Sin embargo, por estar la ENM ubicada en Marín no se consideran efectos de nieve., ya que la cantidad es escasa.

Lluvia

Además de los efectos de la lluvia y la humedad sobre los materiales considerados en el Apartado 3.2.2, debe considerarse la capacidad de drenaje del terreno para evitar que el agua debilite la cimentación de la estructura.

4 DISEÑO

En este capítulo se describe el proceso de diseño del escenario que permita satisfacer los requisitos definidos en el apartado 3.1 considerando los condicionantes expuestos en el apartado 3.2. Se engloba desde los aspectos generales hasta aquellos elementos diseñados como complemento a la estructura. La organización del apartado consta de 3 subapartados.

- ✓ Ideas generales del diseño tras el análisis de los condicionantes y requerimientos definidos en el capítulo 3 y las estructuras ya existentes en otras instalaciones , descritas en los apartados 2.2.1 y 2.3
- ✓ Descripción detallada del proceso problema-solución que se ha seguido para llegar al diseño final.
- ✓ Modelo tridimensional de la estructura.

Este apartado sólo incluye el proceso creativo de diseño. Los pasos seguidos para la creación de los modelos tridimensionales se detallan en los Anexos I, II y III. La realización de los cálculos y el dimensionado se explican en el capítulo 5.

4.1 Propuesta de diseño

4.1.1 Ubicación y dimensiones exteriores

Tras estudiar las ventajas e inconvenientes de las diferentes zonas disponibles para emplazar el escenario, se han descartado la zona 6 y la zona 4. La zona 6 debido a la distancia con la Escuela Naval Militar, los costes de explanación del terreno y los problemas de seguridad derivados por estar fuera del recinto de la ENM. A pesar de no precisar adaptación del terreno, la zona 4 se ha descartado por tener un tamaño muy inferior a las demás. Para dar más versatilidad a la estructura se han establecido unas medidas de 21x21 metros, de forma que se pueda instalar en cualquiera de las otras 4 zonas (véase Figura 3-2).

4.1.2 Materiales y disposición

Para obtener una estructura desmontable y totalmente modular se ha optado por un diseño formado por paneles de madera MDF colocados entre columnas metálicas. Las columnas están dispuestas formando una cuadrícula de 15x15 columnas separadas una distancia de 1.5 metros, de forma que ocupen los 21x21 metros. Dos columnas consecutivas están unidas por un cable metálico en su parte superior, lo que da mayor estabilidad y resistencia a la estructura, nótese que es un diseño similar a la disposición de la red de seguridad del palo de señales en la Escuela Naval Militar (véase Figura 2-23). Dado que están sujetas con cables, las columnas están apoyadas en el suelo con un apoyo libre que les transmita restricción sólo en el eje vertical.

Los paneles de madera van colocados entre columnas consecutivas por medio de apoyos en ambos lados, de forma que aguanten cargas horizontales y sean fácilmente desmontables. De forma similar a un edificio, los paneles deben quedar a una altura aproximada de 2.30 metros del suelo y estar separados de forma que un pasillo tenga un ancho aproximado de 1.20 metros. Al tener columnas de 2.50 metros de alto y separadas 1.50 metros entre sí, se obtienen las medidas necesarias.

Por lo tanto, la idea inicial de diseño es un escenario de 21x21 metros formado por una cuadrícula de 15x15 columnas metálicas de 2.5 metros de altura y separadas 1.5 metros, entre las cuales se colocan paneles de MDF de 1.2x2.4 metros. La estructura esta en equilibrio estático debido a unos cables estructurales de acero inoxidable que unen las columnas entre sí y al suelo.

La Figura 4-1.muestra un modelo tridimensional de la estructura con todos los elementos unidos

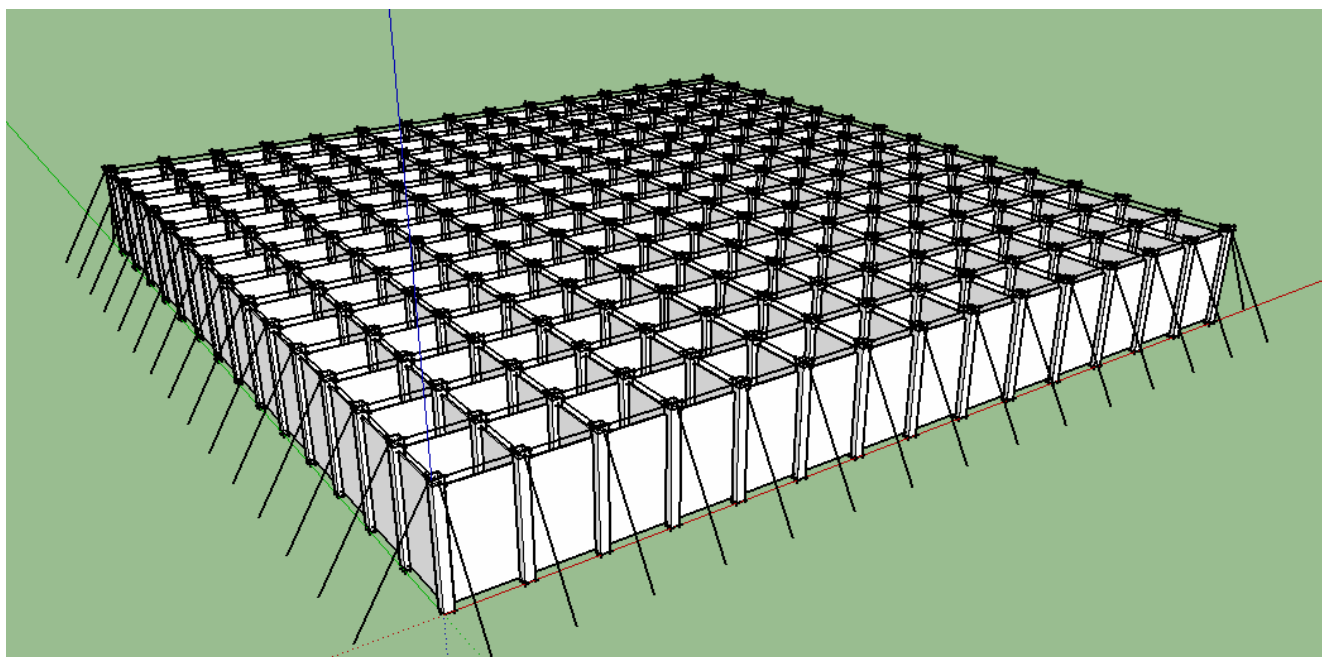


Figura 4-1 Modelo tridimensional de la estructura

4.2 Proceso de diseño de elementos

4.2.1 Columnas

Una vez determinadas las medidas aproximadas de toda la estructura, se presenta la disyuntiva sobre el perfil de columna a emplear, ya que la red de seguridad emplea columnas circulares y esta forma puede ocasionar problemas para acoplar los paneles de madera que conformaran las paredes.

Tras un estudio de los perfiles disponibles, se opta por emplear perfiles de acero UPN200 soldados por parejas para formar una columna cuadrada como se observa en la Figura 4-2. La ventaja de este perfil frente a otros era la forma cuadrada, combinada con una gran variedad de medidas y una gran resistencia a la flexión y al pandeo.

Los dos perfiles con características similares son el doble IPE en cruz y el tubular cuadrado. Sin embargo el IPE en cruz presenta aristas que dificulta el acoplamiento de los paneles, y el tubular cuadrado tiene poca variedad de medidas, por lo que no se tiene menos margen a calcular las dimensiones necesarias en función de los esfuerzos.

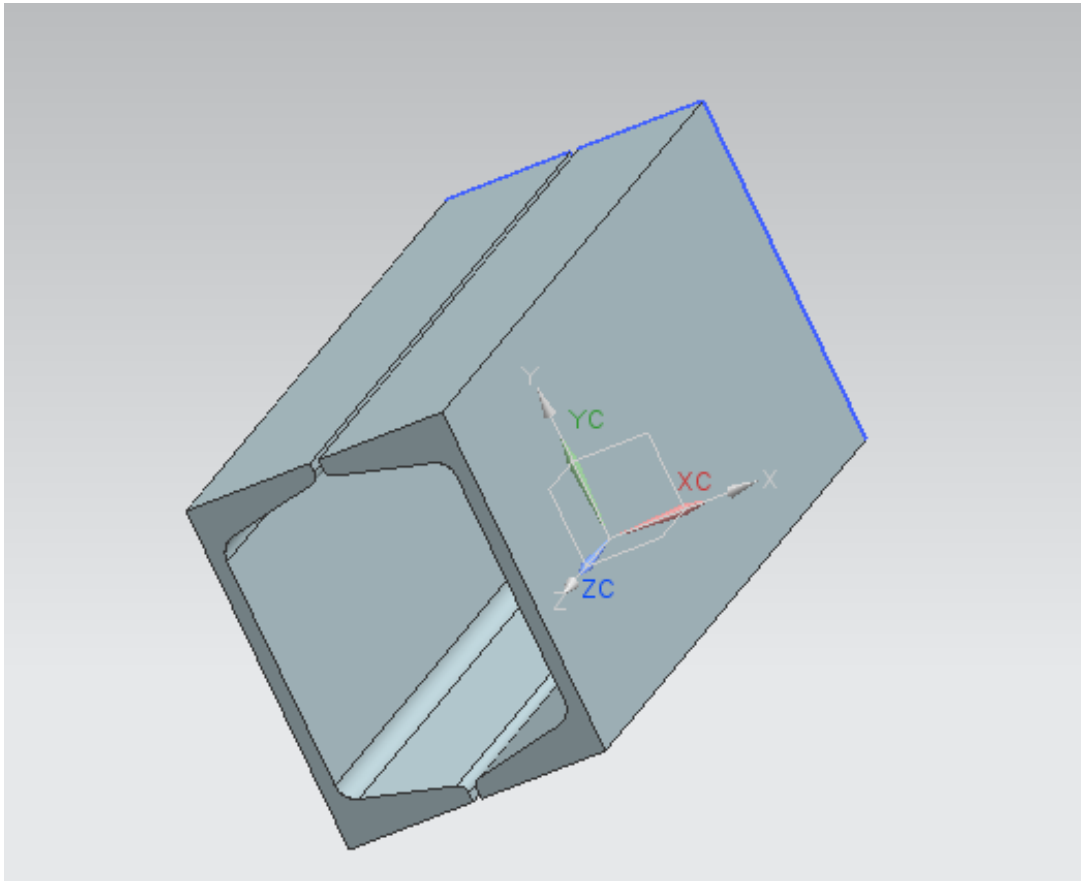


Figura 4-2 Modelo tridimensional de doble perfil UPN

4.2.2 Sujeción superior de columnas

Al plantearse la posibilidad de crear habitaciones de diferentes medidas en cualquier lugar de la estructura aparece el problema de cómo quitar las columnas manteniendo la integridad física de la estructura con los cables, ya que éstos van unidos entre dos columnas consecutivas. Las diferentes soluciones comienzan por el empleo de una cruz metálica que reemplace la columna (Figura 4-3). De esta manera se sueltan los cables, se quita la columna y se coloca la sujeción en el lugar que ocupaba la columna.

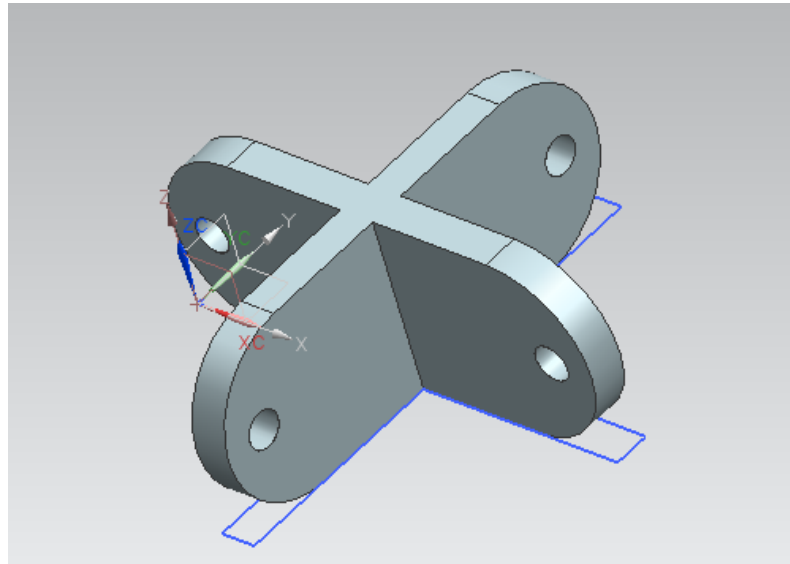


Figura 4-3 Diseño en cruz para sustituir columnas

Debido al tiempo requerido en sustituir la columna por el primer diseño, se propone un modelo similar pero que en lugar de remplazar a la columna, va encajado en su parte superior y cumple la función de unir los cables a la columna (véase la Figura 4-4).

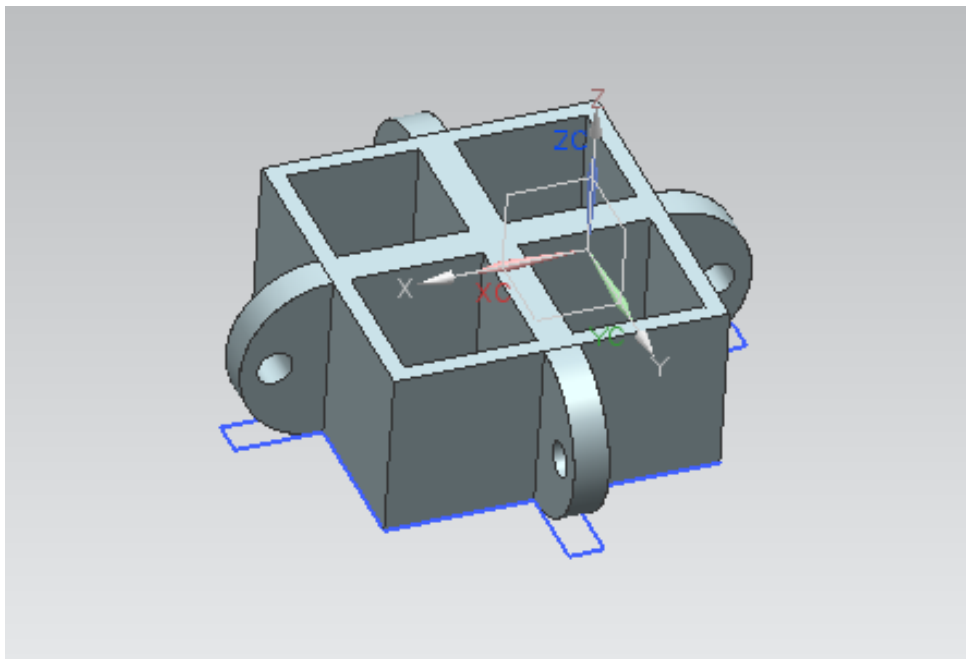


Figura 4-4 Diseño sujeción interior columnas

El segundo diseño reduce el tiempo empleado en quitar una columna, pero también disminuye la resistencia de la columna al necesitar unas ranuras en la parte superior para encajarse. El diseño definitivo cumple la misma función, servir de unión entre las columnas y los cables, pero en lugar de ir encajado dentro de la columna, se coloca en su parte superior por fuera a modo de abrazadera (véase Figura 4-5).

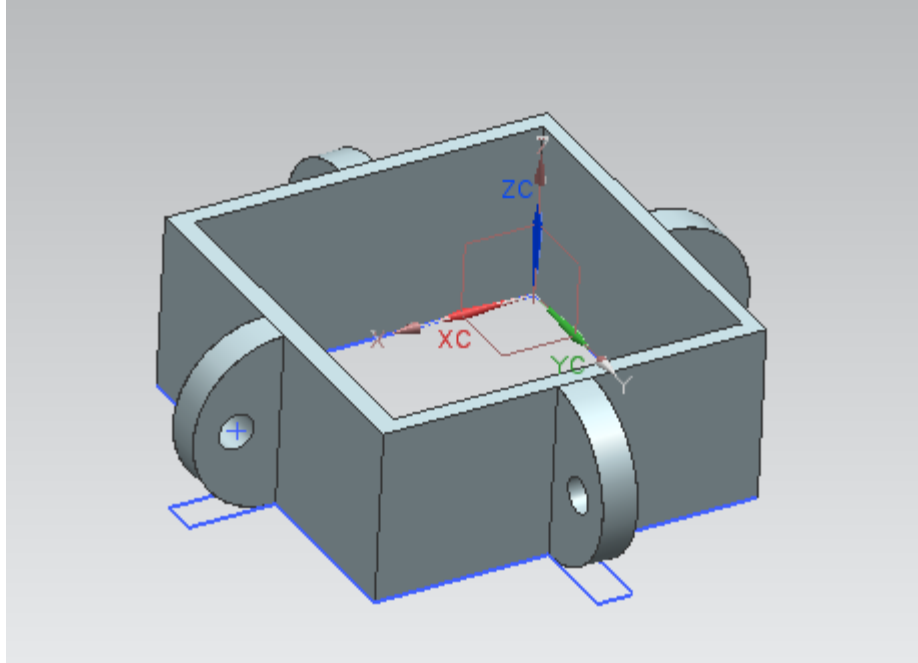


Figura 4-5 Diseño final sujeción columnas

El diseño final de la sujeción permite quitar una columna y mantener la integridad estructural al seguir unidos los cables por la misma pieza, como se ve en una ampliación del modelo tridimensional de una de las configuraciones de la estructura [Figura 4-6]

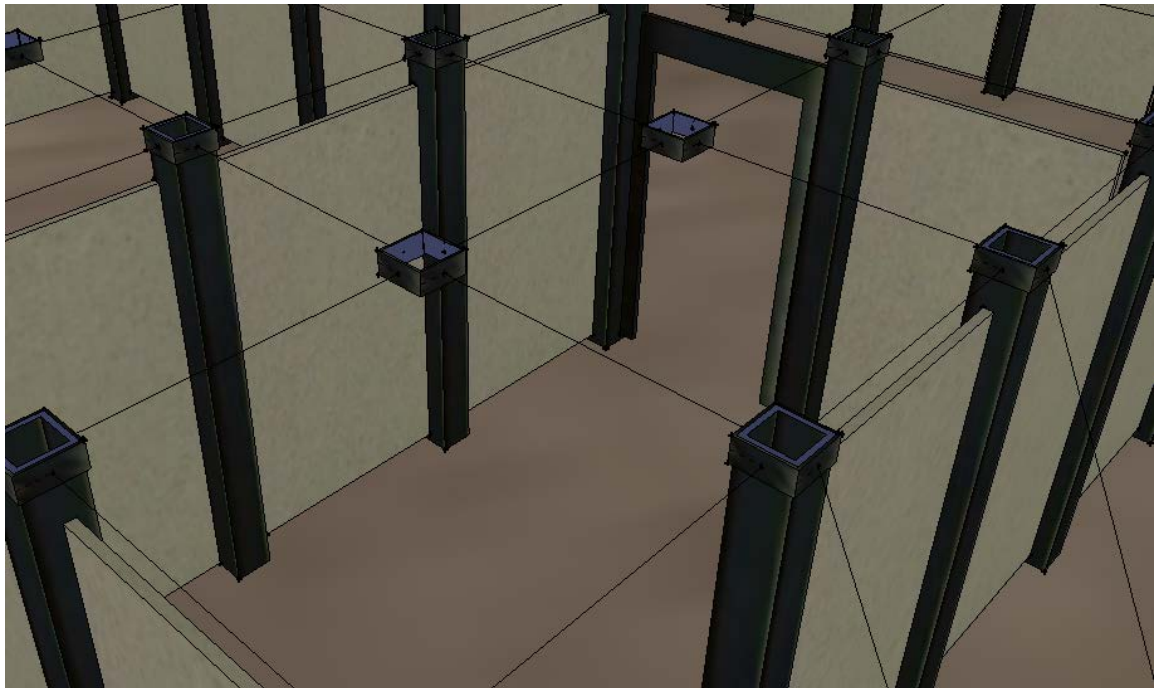


Figura 4-6 Espacio al eliminar columnas en una habitación

4.2.3 Acople entre panel y columna

Para que la disposición de la estructura pueda ser modificada de forma rápida y sencilla, es necesario emplear un sistema de sujeción de los paneles de madera a las columnas adecuado. Este diseño debe ser capaz de resistir la carga de los paneles y además permitir un acoplamiento sin necesidad de herramientas, lo que plantea un reto. Un sistema similar al empleado por los timones de los barcos de vela (Figura 2-24) cumple con los requerimientos, aunque precisa algunas modificaciones para soportar una carga mayor y no dañar la soldadura de unión de las columnas.

El primer problema se resuelve aumentando la superficie de contacto para distribuir la carga y que no se aplique solamente en el tetón de unión, como se ve en la Figura 4-7. Al aumentar la superficie es necesario emplear figuras triangulares para evitar que los bordes del panel o la columna golpeen en el acople durante la colocación.

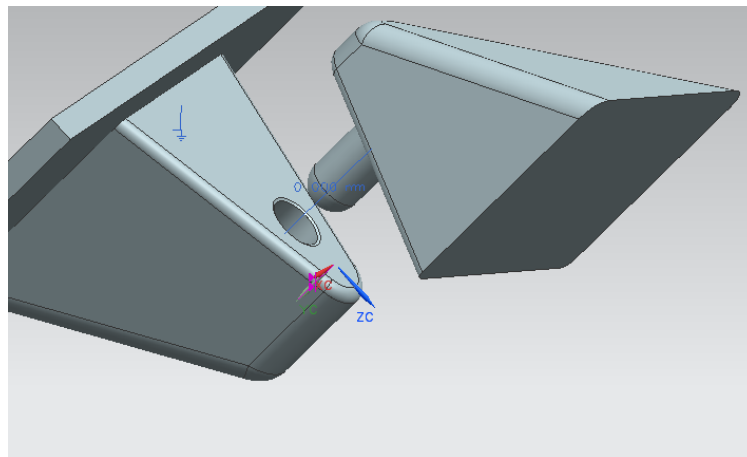


Figura 4-7 Zoom superficie de contacto en acople

El segundo problema precisa de una placa metálica entre la columna y la pieza hembra del acople que distribuya la carga a lo largo de la cara de la columna en lugar de solamente en la soldadura. Dicha placa va integrada como parte de la pieza (véase Figura 4-8) y se suelda conjuntamente y centrada en la cara de la columna.

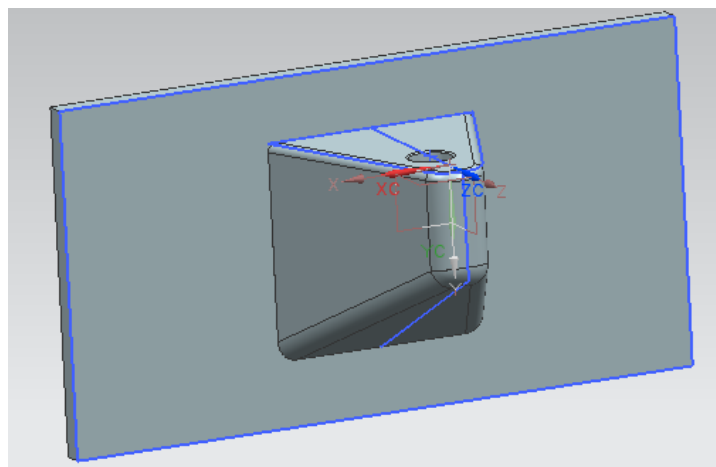


Figura 4-8 Pieza hembra del acople

Si bien la unión entre la pieza hembra del acople y la columna se realiza por soldadura, la unión entre la pieza macho y los paneles precisa de un sistema que evite la rotura del panel debido a las cargas concentradas en los orificios de los tornillos. Para resolver ese problema se emplean tres abrazaderas de metal que recorren toda la sección horizontal del panel en su parte superior, media e inferior y que van unidas a él por tornillos pasantes, como muestra la Figura 4-9.

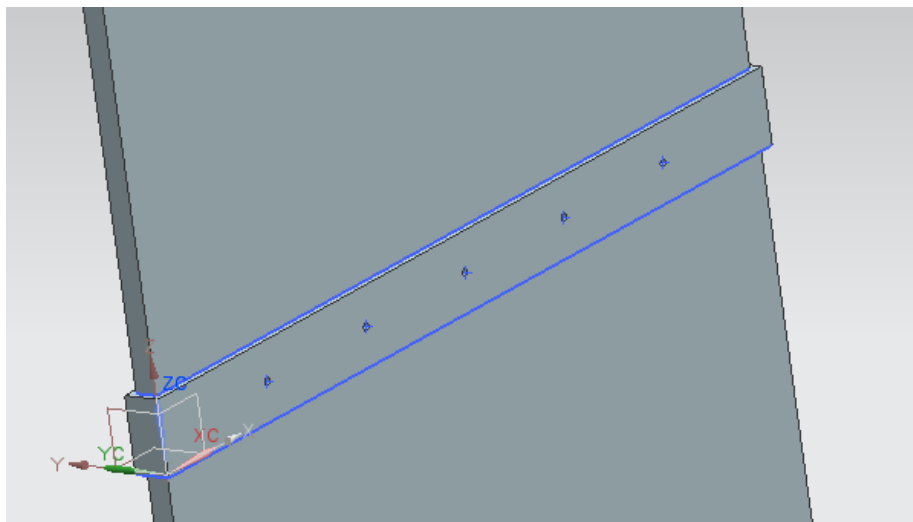


Figura 4-9 Abrazadera en panel de madera

La unión entre la abrazadera y la pieza macho del acople se hace por soldadura, como se observa en la Figura 4-10.

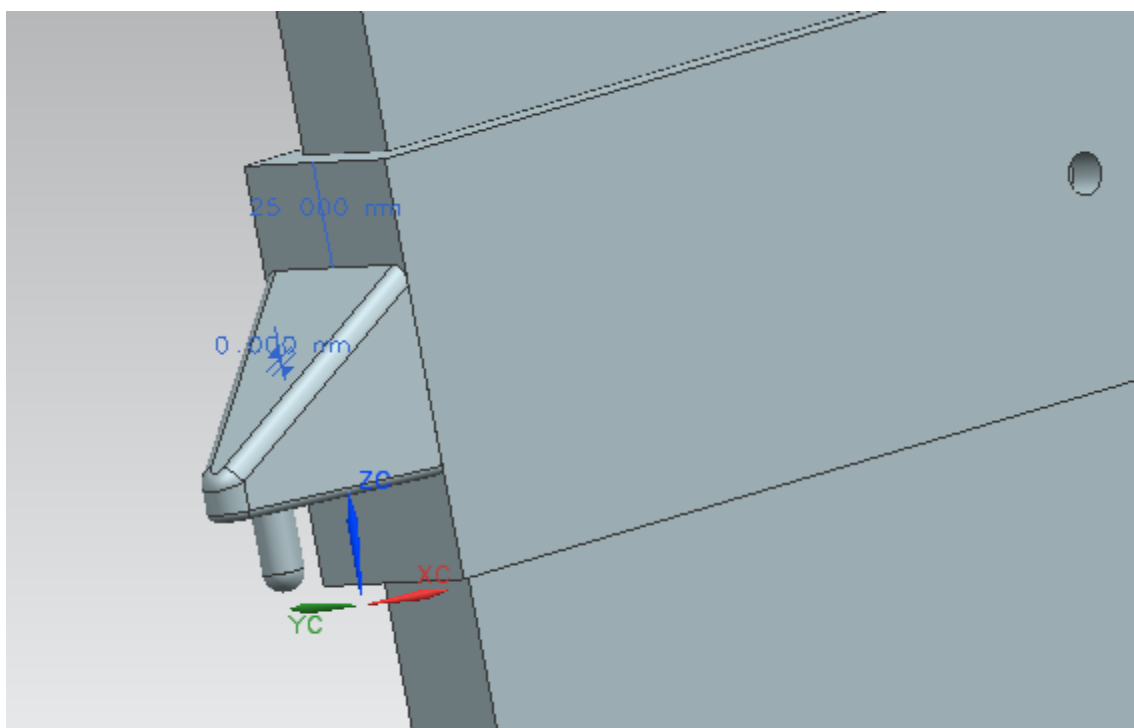


Figura 4-10 Soldadura abrazadera con acople

4.2.4 Apoyo de las columnas en el suelo

Dado que la unión entre las columnas y el suelo debe ser un apoyo que sólo restrinja el movimiento en el eje vertical, es necesario estudiar los diferentes diseños disponibles o crear uno específico para la estructura. El método más común es una perforación en el suelo dónde se introduce una parte de la columna, como se observa en la Figura 4-11. También lo es el empleo de apoyos fijos, en los que la base de la columna es atornillada a una pieza metálica empotrada en los cimientos, como muestran los ejemplos en la Figura 4-12 y la imagen en la Figura 4-13. Sin embargo estos diseños provocan que la estructura esté sobrerrestringida al emplearse también los cables.

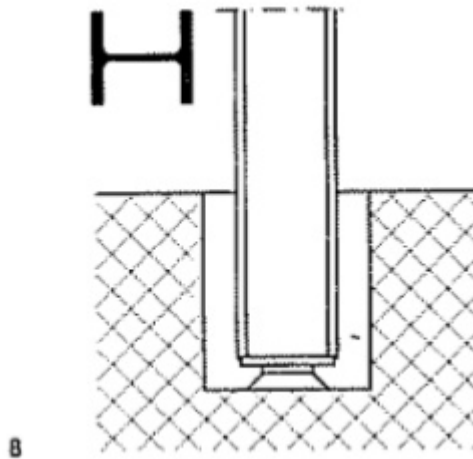


Figura 4-11 Columna empotrada en suelo (12)

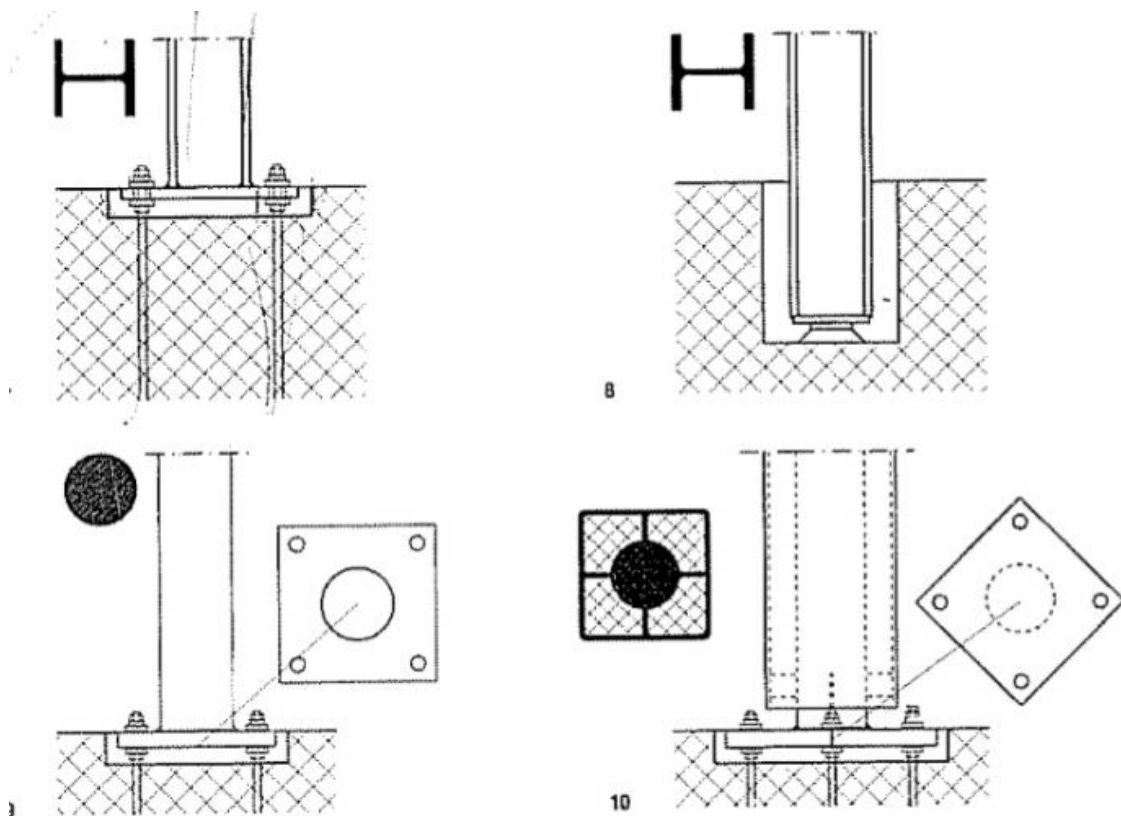


Figura 4-12 Apoyos fijos de columnas en el suelo (12)



Figura 4-13 Fotografía de columna en apoyo fijo (12)

Para apoyos articulados existen multitud de diseños, algunos mostrados en la Figura 4-14, que permiten movimientos de giro o rotación de las columnas. Aunque tienen mayor movilidad que los apoyos fijos, estos diseños no permiten un desplazamiento en los 360 grados. La Figura 4-15 es una fotografía de los apoyos del “London Eye” en Londres, dónde se observa que permite el movimiento del apoyo en un plano determinado.

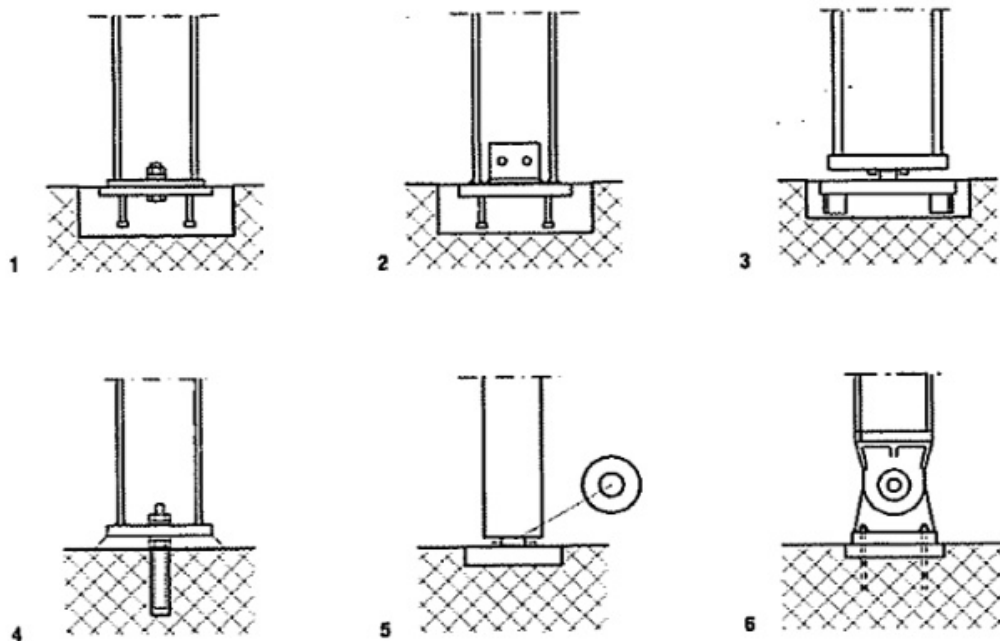


Figura 4-14 Diseños para apoyo articulado (12)



Figura 4-15 Fotografía de apoyos del London Eye (12)

El diseño propuesto para la estructura emplea una esfera, representada en la Figura 4-16, atornillada a la base de la columna y apoyada sobre una carcasa semiesférica que se encuentra en los cimientos (véase Figura 4-17). Para mantener el sistema unido una carcasa semiesférica se atornilla a la otra y tiene un orificio que permite el movimiento de giro de la esfera en los 360 grados con el margen necesario (véase Figura 4-18).

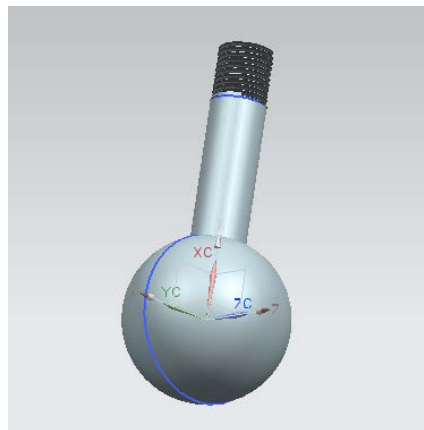


Figura 4-16 Esfera para apoyo articulado

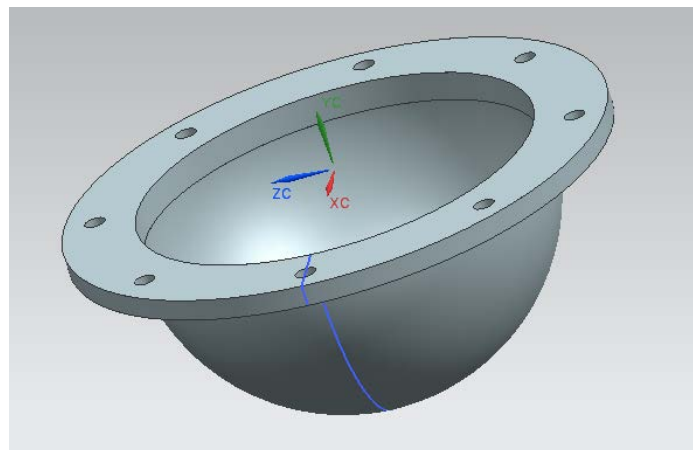


Figura 4-17 Carcasa soporte para el apoyo articulado

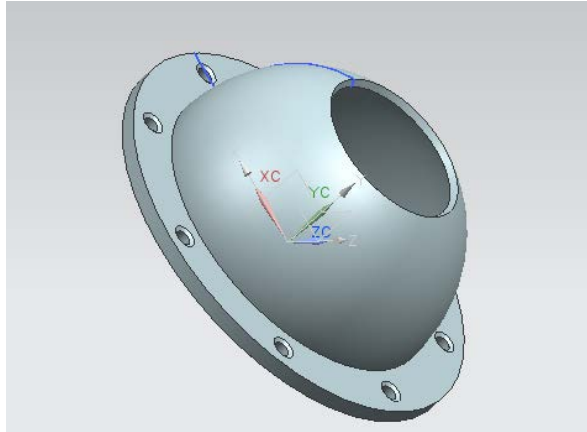


Figura 4-18 Carcasa para el apoyo articulado

El modelo tridimensional del apoyo montado se muestra en la Figura 4-19.

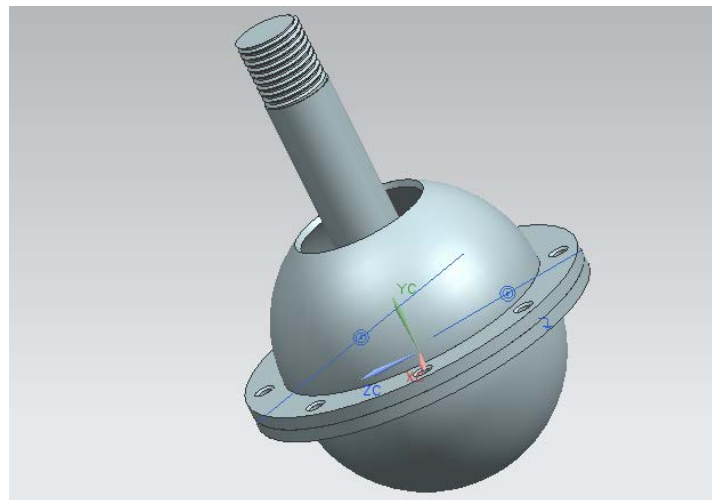


Figura 4-19 Montaje apoyo articulado de las columnas

4.2.5 Puertas y ventanas

La representación de puertas, ventanas y otros elementos propios de las paredes de un edificio, se puede realizar empleando tableros de diferentes tamaños y formas. Una puerta se representaría con un marco sostenido por una abrazadera completa en su parte superior y dos abrazaderas más pequeñas en cada lado, a media y baja altura (véase Figura 4-21). Las ventanas y huecos a baja altura, como desagües o ventilaciones, se realizarían recortando esas dimensiones en los tableros en las zonas libres entre abrazaderas, como se ve en la Figura 4-20. Al emplearse tableros de MDF se podrían tener almacenados paneles completos y recortarse con herramientas convencionales según las necesidades.

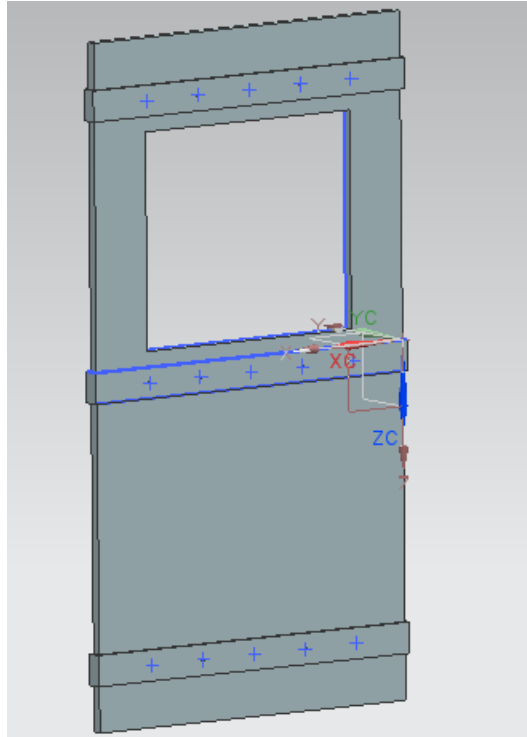


Figura 4-20 Representación de ventana

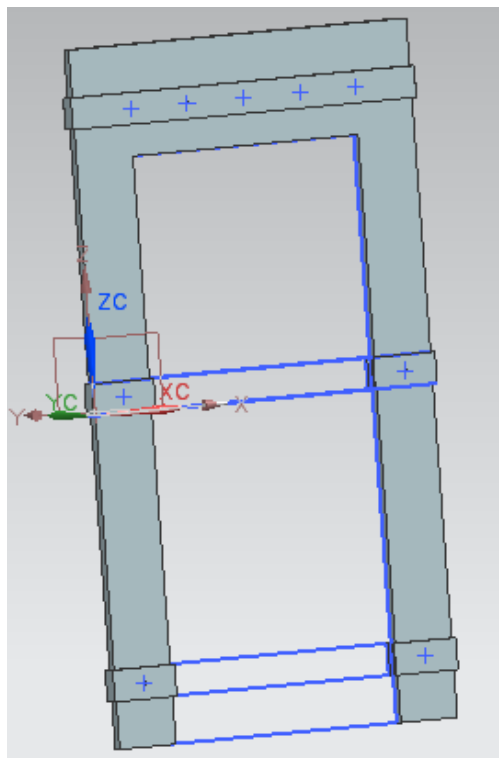


Figura 4-21 Representación de puerta

Las dimensiones de los diseños creados son orientativas y es necesario realizar proyectos futuros en los que se estudien las medidas, formas y materiales óptimos para la construcción final de la estructura.

4.3 Modelo tridimensional de la solución propuesta

Un modelo tridimensional que represente el diseño es una ayuda visual fundamental para entender el diseño. Por lo tanto se emplea la versión gratuita del programa SketchUp 2016, distribuido por Google™, para crear un modelo tridimensional simplificado, representar un ejemplo e incluirlo en una vista aérea de la Escuela Naval Militar. Este proceso incluye varios pasos, que están detallados en el Anexo I:. El resultado es una plantilla con todos los elementos que permite realizar diferentes escenarios para una mejor comprensión del diseño y para identificar los elementos que hay que montar o desmontar.

La Figura 4-22 muestra una vista del escenario junto con un modelo de figura humana para apreciar la escala del diseño, mientras que la Figura 4-23 lo muestra ubicado en una de las zonas propuestas en la ENM.

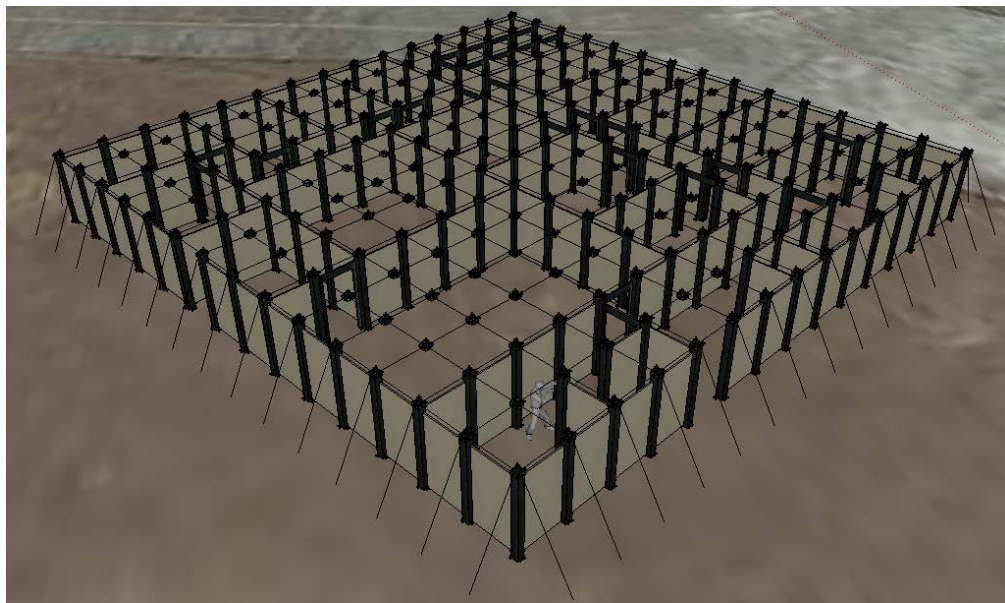


Figura 4-22 Ejemplo de escenario para prácticas de combate en población



Figura 4-23 Modelo del escenario ubicado en la Zona 2

5 COMPROBACIONES ESTRUCTURALES

En este capítulo se describe el proceso de cálculo y estimación de las cargas que actúan sobre las columnas y los cables. Con esos valores se calculará la tensión máxima a la que puede estar sometido el cable, para a continuación estudiar el caso más desfavorable en el que se puede encontrar una columna y verificar si el esfuerzo máximo que puede soportar el doble perfil UPN200 de acero S275 que se ha seleccionado, es mayor que la carga a la que va a estar sometido. Se estudia tanto para equilibrio estático como para su estado último de funcionamiento.

Los elementos auxiliares de la estructura que se han diseñado en el capítulo anterior (apoyo de la columna y acoples entre columnas y paneles) no van a ser sujeto de estudio en este capítulo. Sin embargo, las cargas que se describen en el primer apartado pueden ser empleadas para futuros estudios de resistencia con modelos de elementos finitos (FEM).

5.1 Determinación de cargas

5.1.1 Definición de la condición de carga más desfavorable

Tras un estudio de la estructura se determina que el caso más desfavorable se da en una de las columnas de los laterales por los siguientes factores:

Tiene un desequilibrio de momentos en el eje y-y (color amarillo en la Figura 5-1) debido a la acción de la tensión del cable al suelo (flecha color blanco en Figura 5-1) en un extremo y a la carga del panel (flecha corta color ocre en Figura 5-1) en el otro.

Sufre una carga axial de compresión por tres paneles (flechas color ocre en Figura 5-1) y además por la componente vertical del cable tensor (flecha color blanco en Figura 5-1).

Recibe la combinación de la acción del viento (flechas color azul en Figura 5-1) y de una sobrecarga de uso (flechas color verde en Figura 5-1) en la superficie equivalente a un panel completo, ya que es el resultante de sumar las dos superficies de medio panel que tiene en el eje z-z (color rojo en Figura 5-1).

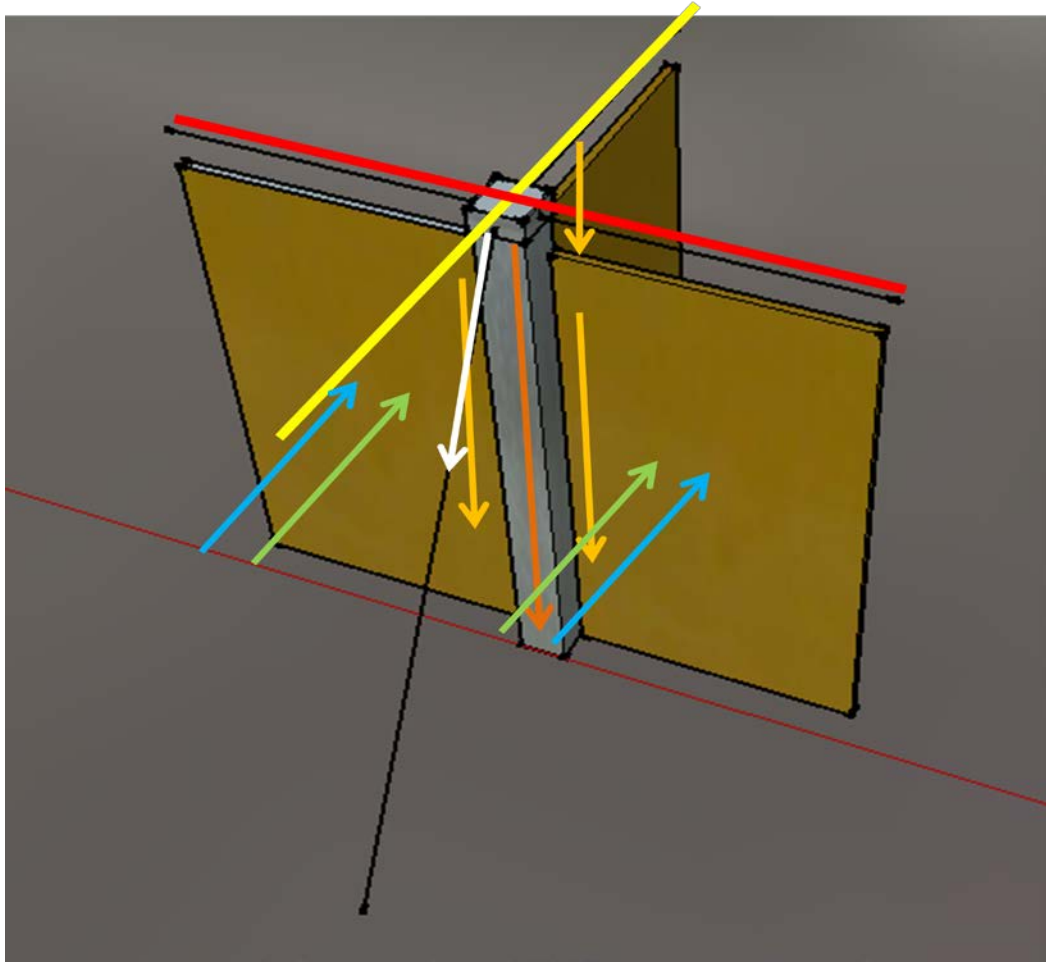


Figura 5-1 Representación del caso más desfavorable en el escenario

5.1.2 Descripción de cargas supuestas

Considerando la forma y los materiales de los que están fabricados, se estiman las cargas de los diferentes elementos que componen la estructura y de las acciones externas que va a recibir la estructura.

- ✓ **Peso de la columna:** la masa de un metro de perfil UPN200 es de 25,3 kg (13). Al emplear columnas de 2.5 m con doble perfil UPN200 se obtiene el valor de la Ecuación 5-1, que se aproxima a 1.3 KN debido al material añadido en la soldadura.

$$P_{columna} = 2 * 25.3 * 2.5 * 9.81 = 1240.965 \text{ N} \approx 1.3 \text{ KN}$$

Ecuación 5-1 Cálculo del peso de una columna

- ✓ **Peso de la sujeción superior:** Dada su forma se aproxima a un perfil de tubo cuadrado de 200 mm de lado, 12 mm de espesor y 100 mm de altura. Dicho perfil tiene una masa de 67.4 kg/m (13), por lo tanto:

$$P_{sujeción} = 67.4 * 0.1 * 9.81 = 66.1194 \text{ N} \approx 0.07 \text{ KN}$$

Ecuación 5-2 Cálculo del peso de la sujeción superior

- ✓ **Peso de la pieza hembra del acople entre panel y columna:** dadas sus dimensiones se estima una masa de 0.5 kg por cada una, por lo tanto:

$$P_{acople H} = 0.5 * 9.81 = 4.905 N \approx 0.005 KN$$

Ecuación 5-3 Estimación del peso de la pieza hembra del acople

- ✓ **Peso de la abrazadera y pieza macho del acople entre panel y columna:** dadas sus dimensiones y añadiendo la masa correspondiente a dos piezas macho del acople (2x0.5 kg) se estima una masa de 2 kg por cada conjunto de abrazadera y dos piezas macho, por lo tanto:

$$P_{acople H} = 2 * 9.81 = 19.62 N \approx 0.02 KN$$

Ecuación 5-4 Estimación del peso de la abrazadera

- ✓ **Peso del panel EDM o MDF:** Conforme a los datos proporcionados por un fabricante en (9) la densidad de un panel MDF de 30 mm de espesor son 675 kg/m³, por lo que se establece el peso de cada panel de dimensiones 2.2x1.2x0.03 metros como:

$$P_{panel} = 2.2 * 1.2 * 0.03 * 675 * 9.81 = 524.4426 N \approx 0.53 KN$$

Ecuación 5-5 Cálculo del peso de un panel MDF

- ✓ **Peso total por panel:** combinando la [Ecuación 5-4] y la [Ecuación 5-5] se obtiene el valor total del peso correspondiente a un panel con sus tres abrazaderas, que viene reflejado en la [Ecuación 5-6]

$$P_{Total panel} = 524.4426 + 3 * 19.62 = 583.3026 \approx 0.60 KN$$

Ecuación 5-6 Cálculo del peso total de un panel

- ✓ **Acción del viento:** según la normativa vigente (10) es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto y está formada por tres componentes, la presión dinámica, el coeficiente de exposición y el coeficiente eólico según la [Ecuación 5-7].

$$q_e = q_b * c_e * c_p$$

Ecuación 5-7 Fórmula para el cálculo de la carga de viento

La presión dinámica (q_b) viene definida según la Ecuación 5-8 en función de la densidad del aire en la zona y el cuadrado de la velocidad básica, que es un valor medio de todos los tomados en unas condiciones determinadas referidas en la normativa. La densidad del aire a nivel del mar es de 1.229 kg/m³ según. Para un mayor de nivel de seguridad, se emplea el valor de la velocidad máxima registrada en la zona según la AEMET (14), que es de 115 km/h, es decir 32 m/s, que es un valor superior a los referidos en la normativa(10). Por lo tanto el valor de la presión dinámica se obtiene como:

$$q_b = 0.5 * \delta * v_b^2 = 0.5 * 1.229 * 32^2 = 629.25 N/m^2 \approx 0.6KN/m^2$$

Ecuación 5-8 Ecuación para el cálculo de la presión dinámica

El coeficiente de exposición (c_e) depende de la altura del punto más alto considerado y del grado de aspereza del entorno según la Tabla 3.4 en(10). Para una altura de 3m y con un Grado I debido a que la ubicación del escenario se encuentra al borde del mar, se obtiene un valor de $c_e = 2.4$

El coeficiente eólico se obtiene de la Tabla D.3 en(10), considerando que el área expuesta es menor de 10 m^2 , que h/d es menor de 0.25 y que la situación más desfavorable supuesta se corresponde a las zonas D y E. Por lo tanto los valores máximo y mínimo que se obtienen son $c_{p \text{ max}} = 0.7$ y $c_{p \text{ min}} = -0.3$.

Sustituyendo los valores en la [Ecuación 5-7] se obtiene que los valores de la carga de viento serán:

$$q_{e \text{ max}} = 0.6 * 2.4 * 0.7 = 1.008 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{e \text{ min}} = 0.6 * 2.4 * -0.3 = -0.432 \text{ kN/m}^2$$

- ✓ **Carga de uso:** las acciones producidas por los usuarios al impactar contra los paneles o apoyarse pueden determinarse según la normativa, que establece una fuerza aplicada a una altura de 1.2 metros para las acciones sobre barandillas y otros elementos divisorios (10). De los posibles valores se escoge el mayor, que es de 3 kN/m.

A modo de resumen y para facilitar la comprensión y revisión, todos los valores de las cargas establecidas aparecen reflejados en la Tabla 5-1

Elemento	Valor
Peso columna	1.3 kN
Peso sujeción superior	0.07 kN
Peso pieza hembra del acople	0.005 kN
Peso total del panel MDF	0.60 kN
Carga de viento a presión	1.008 kN/m ²
Carga de viento a succión	-0.432 kN/m ²
Carga de uso	3 kN/m

Tabla 5-1 Valores determinados para las cargas

5.1.3 Combinación de cargas y coeficientes de mayoración

Las cargas producidas por la acción del viento y del uso pueden resultar más perjudiciales para la estructura cuando se aplican juntas que cuando lo hacen por separado. Al ser ambas acciones variables no concomitantes no se debería estudiar su efecto juntas, ya que no se va a emplear el escenario cuando las rachas de viento sean de esa magnitud. Sin embargo, como medida de seguridad se va a determinar la acción resultante de combinar ambas para comprobar si el perfil UPN200 seleccionado resistiría en ese caso.

Coeficientes de simultaneidad

De acuerdo con los valores extraídos del Código Técnico de la Edificación y la Instrucción de Acero Estructural (15) se le asigna el coeficiente de simultaneidad de $\psi_{0\text{ uso}} = 0.7$ a la carga de uso por considerarse el escenario una zona de Categoría C. A las cargas de viento se les asigna un valor de $\psi_{0\text{ viento}} = 0.6$.

Coeficientes parciales

Siguiendo la misma norma y considerando que ambas son acciones variables y se está estudiando el Estado Límite Último de Resistencia, se les asigna el valor de $\gamma_{Q\text{ uso}} = \gamma_{Q\text{ viento}} = 1.5$ para el coeficiente parcial en el caso más desfavorable.

Combinación de acciones

La fórmula para la combinación de acciones según la documentación mencionada en (8) es la Ecuación 5-9, que se aplica para cada combinación posible modificando los diferentes términos:

- $\sum \gamma_{G,j} * G_{k,j}$: Sumatorio del valor de las acciones permanentes multiplicadas por su coeficiente parcial
- $\gamma_{Q,1} * Q_{k,1}$: Valor de la acción variable que se ha definido como determinante, multiplicado por su coeficiente parcial.
- $\sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$ Sumatorio del valor del resto de acciones variables que sean concomitantes con la determinante, multiplicadas por su coeficiente parcial y su coeficiente de simultaneidad.

$$\sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Ecuación 5-9 Fórmula para combinación de acciones

Para los valores de la Tabla 5-1, el caso más desfavorable es siendo la carga de uso la acción determinante y las cargas de viento a presión y succión las no determinantes. Debido al diseño del escenario, los valores de viento a presión y succión se suman, ya que la succión se transmite por los cables de un lado a otro de la estructura. El valor de combinación de las acciones es el resultado de la Ecuación 5-10.

$$Q_v = \gamma_{Q\text{ uso}} * q_u * b_{\text{panel}} + \gamma_{Q\text{ viento}} * \psi_{0\text{ viento}} * A_{\text{panel}} * (q_{e\text{ max}} + q_{e\text{ min}})$$

$$Q_{u,v} = 5.4 \text{ kN} + 3.42 \text{ kN/m}$$

Ecuación 5-10 Carga por combinación de acciones variables

5.1.4 Cálculo del estado de equilibrio estático

La primera condición que se debe cumplir es que la estructura se encuentre en equilibrio estático, es decir, que la suma de todas las fuerzas y la suma de momentos en un punto sean nulas (15). En el diagrama representado en la Figura 5-2 se muestran las fuerzas que actúan en el plano y-y, de las cuáles la única incógnita es la tensión en el cable (flecha de color blanco).

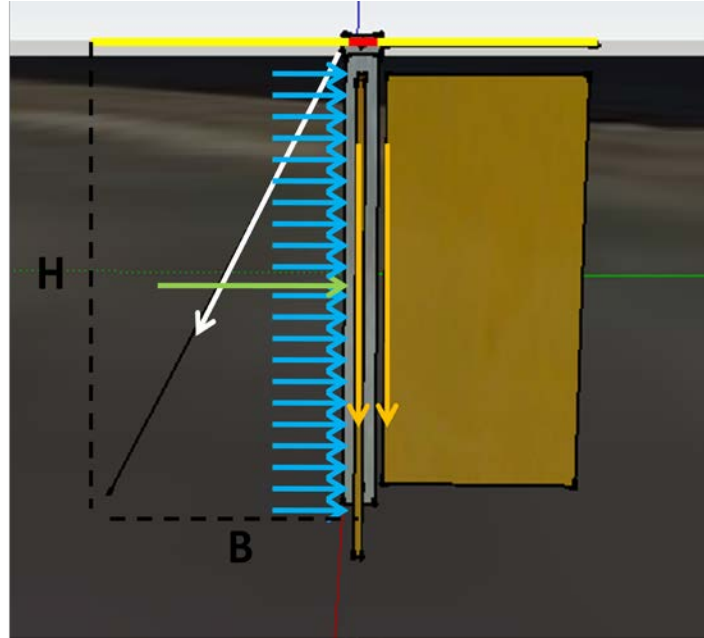


Figura 5-2 Representación de acciones en el eje y-y de la columna

Al tratarse de un caso plano, las condiciones que se deben cumplir para que se dé la situación de equilibrio estático son las que se muestran en la Ecuación 5-11

$$\begin{aligned} \sum F_{x,i} &= 0 \\ \sum F_{y,i} &= 0 \\ \sum M_{Az,i} &= 0 \end{aligned}$$

Ecuación 5-11 Condiciones de equilibrio estático en el plano

En este caso no es necesario hacer el cálculo en el eje vertical (eje x) ya que la diferencia entre las fuerzas es la reacción vertical del apoyo. También se debe considerar que el ángulo entre el cable y la columna es un valor ya definido, ya que la distancia entre el apoyo del cable en el suelo (B en la Figura 5-2) y la altura de la columna (H en la Figura 5-2) son valores conocidos (H=2.45m; B=1.55m). Por lo tanto, solo sería necesario resolver el cálculo del ángulo y la ecuación del equilibrio de momentos respecto al punto medio de la base (punto A) con las fuerzas que se muestran en la Figura 5-3.

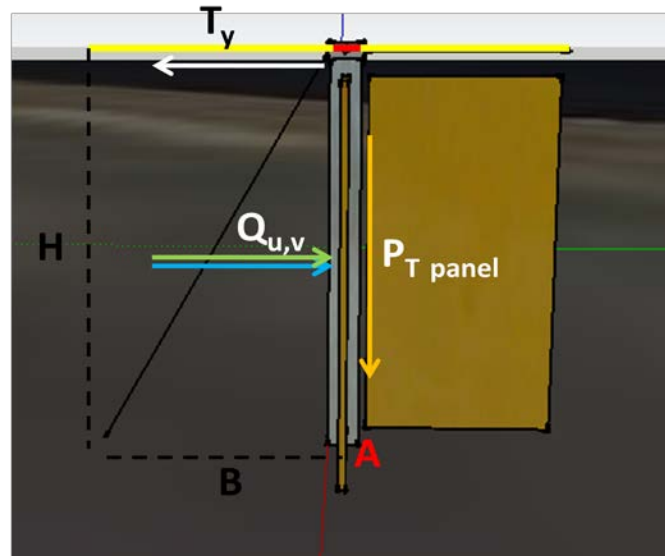


Figura 5-3 Fuerzas que generan momento sobre el punto A

$$\sum M_{Az,i} = P_{Total \text{ panel}} * 0.1 + Q_{u,v} * 1.2 - T * \cos(\tan^{-1} \frac{B}{H}) = 0$$

Ecuación 5-12 Equilibrio de momentos en la base de la columna

Despejando T de la Ecuación 5-12 se obtiene el valor necesario para el equilibrio estático

$$T = \frac{0.6 * 0.1 + (5.4 + 3.42 * 2.2) * 1.2}{\cos 32} = 18.4kN$$

Ecuación 5-13 Valor de la Tensión para equilibrio estático

5.2 Comprobación de resistencia del cable estructural

Habiéndose obtenido el valor de tensión necesario que debe soportar el cable para que las columnas estén en equilibrio estático se debe plantear el caso de mayor esfuerzo en el cable para determinar el valor máximo de tensión y verificar que el cable seleccionado lo resiste. Dicho valor es la suma entre la tensión necesaria para equilibrio estático y la obtenida para el caso más desfavorable sin acciones externas.

El caso propuesto se representa en la Figura 5-4 y se corresponde con la eliminación de toda una fila de columnas, a excepción de las de los extremos, de forma que el cable deba aguantar su propio peso y el de las 13 sujeciones, de forma que estas no desciendan a una altura menor de 2.3 metros por motivos de seguridad.

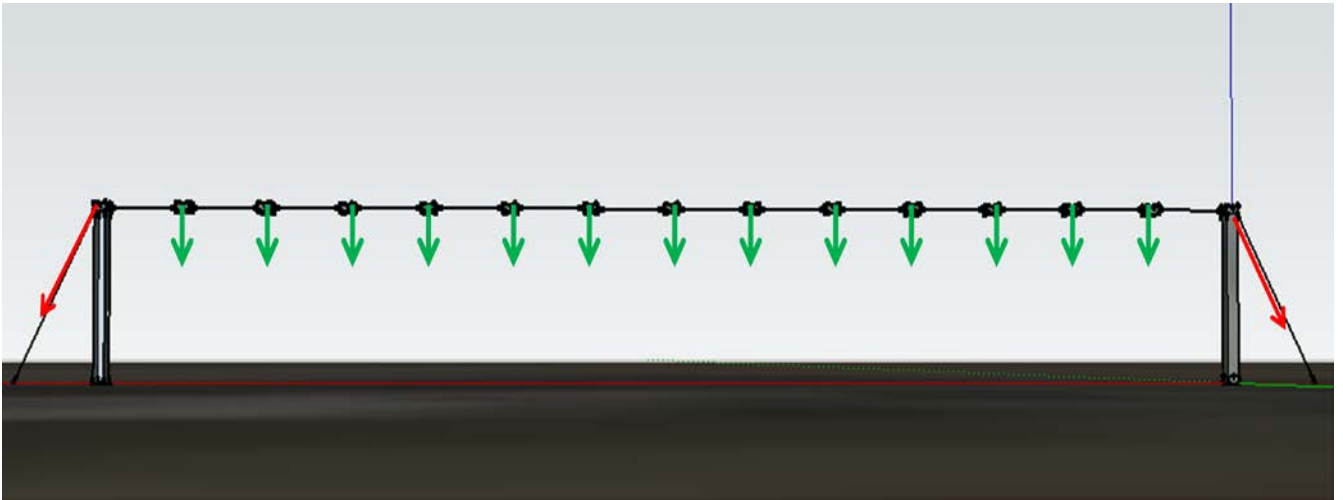


Figura 5-4 Representación de cargas en el caso más desfavorable para cable

La sección de cable que se emplea es un 1x19 de 10 mm de diámetro nominal y fabricado en acero inoxidable AISI316. Las propiedades de la sección se muestran en la Tabla 5-2, obtenidas de un catálogo comercial (17).

Propiedad	Valor
Diámetro nominal	10 mm
Peso	0.495 kg/m
Sección	59 mm ²
Carga de rotura	82.40 kN

Tabla 5-2 Propiedades del cable 1x19 8mm AISI316

Al poder suponer el cable cargado de manera uniforme, se emplean para el cálculo de la tensión las fórmulas del modelo parabólico (Ecuación 5-14), extraídas de (15). La Figura 5-5 muestra el esquema de cálculo.

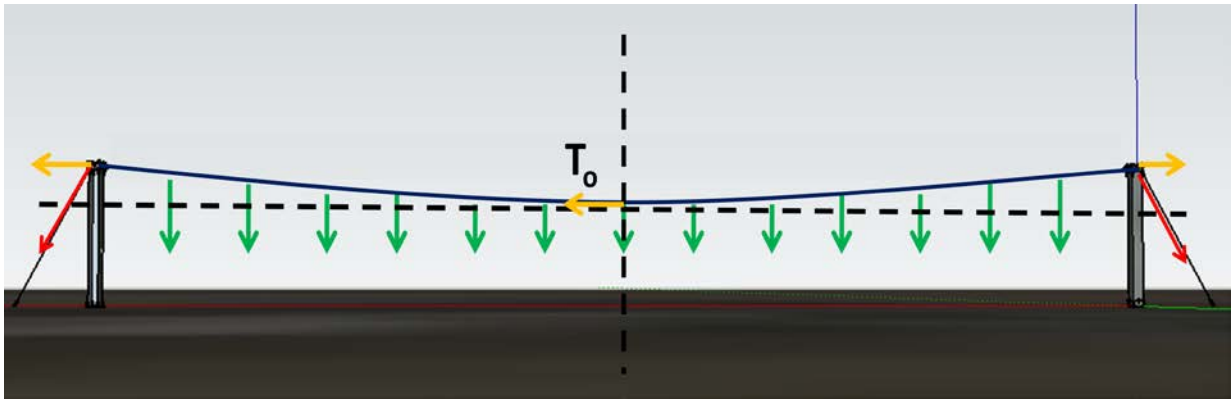


Figura 5-5 Aplicación del modelo parabólico al cable

$$y = \frac{qx^2}{2T_o}$$

Ecuación 5-14 Ecuación del modelo parabólico

Parámetros:

$$q = \left(\frac{13 \text{ sujeciones} \cdot 7 \text{ kg}}{21 \text{ metros}} + 0.495 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \cdot 9.81 = 47.37 \text{ N/m}$$

$$x = \frac{21}{2} = 15.5 \text{ m (por simetría)}$$

$$y = 0.2 \text{ m}$$

Ecuación 5-15 Cálculo de parámetros de la ecuación del cable

Tras aplicar la $y = \frac{qx^2}{2T_o}$

Ecuación 5-14 con los parámetros de la Ecuación 5-15, se obtiene el valor de T_o , (Ecuación 5-16) que por ser la componente horizontal de la tensión necesaria, permitirá su cálculo en la Ecuación 5-17.

Resultado:

$$T_o = \frac{qx^2}{2y} = \frac{47.37 \cdot 15.5^2}{2 \cdot 0.2} = 28449.17 \text{ N} = 28.5 \text{ kN}$$

Ecuación 5-16 Cálculo de la componente horizontal de la tensión del cable

$$T_{min} = T_o / \sin(\tan^{-1} \frac{1.55}{2.45}) = 53211.66 \text{ N} = 53.2 \text{ kN}$$

Ecuación 5-17 Cálculo de la tensión mínima necesaria

La tensión total que debe soportar el cable es la suma de las obtenidas en la Ecuación 5-13 y la Ecuación 5-17. Posteriormente se comprueba que es inferior a la carga de rotura proporcionada por el fabricante y aplicándole un coeficiente de seguridad adicional (Ecuación 5-18), demostrándose la validez del cable seleccionado.

$$T_{max} = T_{eq} + T_{min} = 18.4 + 53.2 = 71.6 \text{ kN} < \frac{82.4}{1.05}$$

Ecuación 5-18 Comprobación de resistencia del cable

5.3 Comprobación estructural de la columna

Una vez demostrado el equilibrio estático de la estructura y la resistencia de los cables, es necesario verificar que el perfil doble UPN200 de acero S275 es capaz de soportar las cargas descritas en el Apartado 5.1 y representadas en la Figura 5-1.

5.3.1 Descripción del perfil

Conforme a los datos reflejados en la tabla sobre los perfiles doble UPN (13), se determina que el eje más débil y en el que por tanto se va a comprobar la resistencia de la columna es el y-y (marcado en amarillo en la Figura 5-1). Los valores necesarios proporcionados por la referencia, se ordenan en la Tabla 5-3. La columna tiene una altura $H=2.5\text{m}$ y la base exterior es un cuadrado de $0.2\times 0.2\text{ m}$.

Propiedad	Valor
Área (A)	6440 mm^2
Momento de inercia (I_y)	$38.2 \times 10^6\text{ mm}^4$
Radio de giro (i_y)	77 mm
Módulo de inercia (W_y)	$38.2 \times 10^4\text{ mm}^3$
Momento de inercia (I_z)	$44.1 \times 10^6\text{ mm}^4$
Radio de giro (i_z)	82.7 mm
Módulo de inercia (W_z)	$44.1 \times 10^4\text{ mm}^3$

Tabla 5-3 Propiedades del perfil doble UPN200

La Figura 5-2 muestra que la columna está sometida tanto a esfuerzos verticales que provocan compresión, como a esfuerzos horizontales que provocan flexión. Por lo tanto se aplica el método de cálculo para “compresión acompañada de flexión esviada sin torsión” descrito en (18)

5.3.2 Cálculo de esfuerzos

El método comienza definiendo los momentos flectores y los esfuerzos normales a los que está sometida la columna en ambos ejes. En el caso de la columna de este escenario se le aplica una carga uniformemente distribuida debido al viento, que genera un momento flector cuyo máximo está en el centro de la columna. También genera momento flector la carga puntual del uso, aplicada a una altura de 1.2 metros. El otro esfuerzo es una compresión debida a la suma del peso propio, los tres paneles que tiene acoplados en las caras (con las piezas correspondientes), el peso de la sujeción superior y la componente vertical de la tensión de equilibrio en el cable.

El cálculo se hará por suma de efectos empleando las fórmulas para vigas simplemente apoyadas (13)

Momento flector debido a carga de viento

El valor del momento flector máximo con la Ecuación 5-19.

$$M_{max} = \frac{qL^2}{8} = \frac{3.42 * 2.5^2}{8} = 2.67 \text{ kNm}$$

Ecuación 5-19 Momento flector máximo por carga de viento

Momento flector debido a carga de uso

El valor del momento flector máximo con la Ecuación 5-20

$$M_{max} = \frac{Pab}{L} = \frac{5.4 * (2.5 - 1.2) * 1.2}{2.5} = 3.37 \text{ kNm}$$

Ecuación 5-20 Momento flector máximo por carga de uso

Esfuerzo axial total

Se obtiene de la suma aritmética de todas las cargas en la Ecuación 5-21

$$N = P_{columna} + P_{sujeción} + 9 * P_{acople H} + 3 * P_{T panel} + T * \cos 32 = 18.82 \text{ kN}$$

Ecuación 5-21 Cálculo de carga axial total

5.3.3 Estudio de pandeo

Una vez calculados los esfuerzos, el método procede a estudiar las propiedades elásticas y plásticas de la sección.

Clasificación de la sección

De acuerdo con la tabla A4 de la referencia (18) la sección es de clase 1

Límite elástico

Al ser el espesor mayor de la sección inferior a 40 mm, se toma $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$

Esbelteces adimensionales

De acuerdo con (18) se utiliza la Ecuación 5-22

$$\lambda_E = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.91 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 86.81$$

Ecuación 5-22 Cálculo de la esbeltez dimensional

La esbeltez para cada eje queda definida por la Ecuación 5-23

$$\bar{\lambda}_y = \frac{l_k}{i_y * \lambda_E} = \frac{2500}{77 * 86.81} = 0.374$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{l_k}{i_z * \lambda_E} = \frac{2500}{82.7 * 86.81} = 0.348$$

Ecuación 5-23 Cálculo de la esbeltez de cada eje

Coefficientes de reducción por pandeo

De acuerdo a la Tabla 7.3 en (18) se trata de una curva de pandeo de tipo c, por lo que $\alpha=0.49$ según la Tabla 7.1 en (18). El coeficiente de reducción por pandeo se calcula con la Ecuación 5-24., obteniéndose como valores $X_y = 0.911$ y $X_z = 0.924$.

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \text{ siendo } \phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0.2) + \lambda^2]$$

Ecuación 5-24 Fórmula para el cálculo del coeficiente de reducción por pandeo

Factores de momento flector

Según la Tabla 7.6 en (18) se supone una carga uniforme y $C_{m,y} = C_{m,z} = 0.95$.

5.3.4 Estudio de resistencia

En esta parte del método se calculan los coeficientes para combinar los efectos de los esfuerzos en distintos ejes sobre la sección de estudio y se comprueba la resistencia de la barra a pandeo y a deformación plástica.

Coefficientes de interacción

La carga de agotamiento plástico viene definida por la Ecuación 5-25

$$N_{crítica} = A * \frac{f_y}{1.05} = 6440 * \frac{275}{1.05} = 1686666.7 \text{ N}$$

Ecuación 5-25 Cálculo de la carga de agotamiento plástico de la sección

Los coeficientes de interacción se calculan conforme a la Tabla 7.5 en (18) para secciones de clase 1, obteniéndose los siguientes valores: $k_{yy} = 0.955$ y $k_{yz} = 0.57$

Comprobación de la barra a pandeo

Se comprueba que la columna cumple la condición de la Ecuación 5-26

$$\frac{N}{X_y * N_{crítica}} + k_{yy} * \frac{M_y}{W_y} + k_{yz} * \frac{M_z}{W_z} = 78.2 \leq 261 = \frac{f_y}{1.05}$$

Ecuación 5-26 Condición de resistencia a pandeo

Comprobación de la barra a agotamiento por plastificación

Se comprueba que la columna cumple la condición de la Ecuación 5-27

$$\frac{N}{N_{crítica}} + \frac{M_y}{W_y} + \frac{M_z}{W_z} = 29.4 \leq 261 = \frac{f_y}{1.05}$$

Ecuación 5-27 Condición de resistencia a plastificación

Se verifica que los materiales y secciones propuestos cumplen las condiciones necesarias para soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidos en las situaciones más desfavorables. Nótese que la diferencia entre los valores máximos obtenidos y los críticos para las columnas es amplia. Esto se debe a que el dimensionado del perfil ha estado influido por las necesidades de diseño (medidas concretas).

También cabe destacar que para completar el estudio de la resistencia de las columnas sería necesario hacer un estudio local del agotamiento de las secciones intersección de los acoples y las sustentaciones, por lo que la diferencia se reduciría.

6 PRESUPUESTO

Toda propuesta debe incluir un presupuesto que aunque no influya en el diseño, si pueda emplearse como criterio de comparación entre un proyecto u otro. También puede servir como aspecto determinante de su construcción o revisión para buscar un diseño más económico, ya sea reduciendo los márgenes de seguridad estimados o limitando algunas prestaciones. Por ejemplo, “La casa de Tela” en el acuartelamiento de “El Goloso” (véase el apartado 2.2.1) permite una gran modularidad con un bajo coste, pero en detrimento de la resistencia del escenario.

Mediante una estimación del número de elementos principales necesarios se han solicitado presupuestos a diferentes fabricantes, a fin de obtener un valor aproximado del coste del proyecto. Se han dividido en tres categorías fundamentales: Cables y sus elementos de anclaje, Columnas y Paneles. No se contemplan los costes de fabricación de los elementos que se han diseñado y que no existen en el mercado, como los acoples entre paneles y columnas, las sujeciones superiores de los paneles y los apoyos articulados en el suelo.

6.1 Cables y elementos de anclaje

Se estima una longitud de 1 metro para los cables que unen las columnas con sus adyacentes. Se ha considerado la distancia de 1,5 metros entre centros de columnas, restándole dos veces la mitad del lado del perfil, y la longitud de los anclajes que van a cada lado del cable para tensarlo. Sin incluir posibles repuestos, el número mínimo de cables necesarios son $2 * 14 * 15 = 420$. Por lo tanto son necesarios 420 cables de 1 metro de longitud y con sección 1x19 (véase Figura 6-1, 10mm de diámetro nominal y fabricados en acero AISI316).

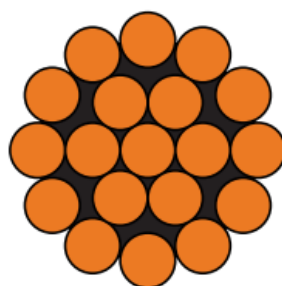


Figura 6-1 Sección 1x19 de cable AISI316

Para las columnas de los laterales son necesarios $4 * 15 = 60$ cables de 3 metros de longitud, considerando la distancia del punto de anclaje en el suelo a la sujeción superior de la columna. El perfil de estos cables es el mismo que el de los anteriores.

Para servir de unión entre los cables y los diferentes elementos y permitir tensarlos hasta alcanzar la tensión mínima, se ha presupuestado la compra de $2 * 420 + 2 * 60 = 960$ tensores para prensar con horquilla torneada y diámetro de 10 mm. Estos elementos están diseñados expresamente para cables estructurales, por lo que su carga de rotura es superior a la que se va a alcanzar, como se ve en los datos proporcionados por el fabricante en (19).

El coste de los cables es de 5.02€/m +IVA y el de los anclajes es de 10.05€ por unidad, por lo tanto el coste total sería de $420 * 5.02 * 1.21 + 60 * 3 * 5.02 * 1.21 + 960 * 10.05 = 13.292,52€$

PRECIO CABLES: 13.292,52 €

6.2 Columnas

Al tratarse de un perfil normalizado, hay multitud de distribuidores que lo pueden vender. Sin considerar repuestos se necesitan $2 * 15 * 15 = 450$ perfiles UPN 200 normalizados de 2,5 metros de longitud, ya que son necesarios dos perfiles para construir cada columna. El precio por metro es de 33.03€ (IVA inc) según (20), por lo que el coste de todas las columnas sería de $450 * 2.5 * 33.03 = 37158.75€$; s decir, 82,58€ la unidad.

PRECIO COLUMNAS: 37.158,75 €

6.3 Paneles

Para una disposición completa del escenario son necesarios $2 * 14 * 15 = 420$ paneles MDF de 2.20x1.20x0.03 metros. Sin embargo la posibilidad de representar puertas, ventanas y escotillas requiere de más paneles, por lo que el presupuesto solicitado al fabricante es de 460 paneles. Debido a su composición, no precisan de herramientas específicas para cortarlos, por lo que esta operación se podrá realizar en función de las necesidades en los talleres de la Escuela Naval Militar.

La empresa maderas Hermanos Guillén (9) ofrece un presupuesto con paneles de dimensiones similares (2.44x1.22x0.03 metros) fabricados en MDF hidrófugo, por un coste de 12.68 €/m² + IVA.

Por lo que el coste sería de $460 * 2.44 * 1.22 * 12.68 * 1.21 = 21.009,32 €$, es decir 45,67€ la unidad.

PRECIO PANELES: 21.009,32€

Coste total de los elementos estructurales

El coste total de todos los elementos presentados en este apartado asciende a: **71.460,59 €**

Nótese que a este valor habría que sumarle el coste de fabricación de las piezas que se han diseñado en el proyecto.

7 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

7.1 Conclusiones

Al comienzo de este manuscrito se había establecido como Objetivo Principal el diseño de un escenario para realizar prácticas de combate en población en la Escuela Naval. El Capítulo 4 describe la estructura diseñada y detalla el proceso de diseño, incluyendo un ejemplo de su aplicación para representar un escenario de combate en población (véase Figura 4-22). Además se incluye un estudio de las posibles ubicaciones dentro de la Escuela Naval Militar en el Apartado 3.1.1 y se señalan cuatro zonas como válidas para instalar la estructura.

El Objetivo Principal también incluía que el escenario fuera modulable y desmontable. Con el diseño general y los elementos creados se demuestra que la estructura puede materializar cualquier combinación de pasillos y habitaciones dentro de los límites del área de 21x21 metros. Por lo tanto se puede afirmar se ha cumplido de forma satisfactoria el Objetivo Principal del proyecto.

Con el fin de aumentar las prestaciones del escenario, se definieron diversos Objetivos Secundarios, algunos de los cuáles han sido cumplidos. En primer lugar, se han diseñado elementos innovadores para el acoplamiento rápido de los paneles y las columnas y para permitir un apoyo articulado de estas últimas en el suelo (véase el Apartado 4.2). Estos diseños permiten un montaje y desmontaje rápido de la estructura, así como la posibilidad de modificar el escenario sin necesidad de herramientas complejas o personal especializado.

En segundo lugar se había considerado mejorar la modularidad del escenario al permitir crear espacios abiertos, tales como habitaciones o pasillos más anchos, en cualquier lugar de la estructura. Con el diseño de las sujeciones superiores (véase el Apartado 4.2) se puede crear un espacio de hasta 21x21 metros, ya que las únicas columnas que no se pueden desmontar son las de los laterales.

En tercer lugar y con el objetivo de aumentar la versatilidad y el grado de realismo del escenario, se había planteado la posibilidad de poder simular elementos como puertas, ventanas y escotillas. El empleo de paneles de EDM, que se pueden cortar y trabajar con herramientas convencionales, y el diseño de sujeciones específicas para estos casos permiten cumplir este objetivo incrementando el número de posibles escenarios que se pueden materializar para la realización de prácticas de combate en población y MIO.

Como conclusión final, se puede decir que este trabajo expone la necesidad de crear un escenario para prácticas de combate en población y MIO dentro del recinto de la Escuela Naval Militar. Como respuesta a esta necesidad el trabajo propone un diseño original e innovador de un escenario de combate en población que combina versatilidad, modularidad y resistencia. Asimismo se demuestra la viabilidad técnica del proyecto.

7.2 Líneas Futuras

A pesar del trabajo realizado y el cumplimiento de la mayoría de los objetivos, se han abierto nuevas líneas para futuros proyectos:

7.2.1 Dimensionado de los elementos auxiliares diseñados

Las medidas con las que se han realizado los diseños de los acoples entre paneles y columnas, las sujeciones superiores y el apoyo de las columnas en el suelo son orientativas y se han considerado únicamente requisitos de diseño. Empleando las cargas descritas en el Apartado 5.1.2 y los diseños de las piezas en NX descritos en los Anexos I y II se puede realizar una simulación de elementos finitos (FEM) para determinar las dimensiones óptimas y el material necesario para resistir las cargas.

7.2.2 Cálculo de los esfuerzos locales en las columnas

En el Apartado 5.3 se describen los cálculos para comprobar la resistencia del perfil seleccionado frente a pandeo. Sin embargo existen esfuerzos locales en los puntos en los que se unen los elementos, como las soldaduras, los apoyos de las sujeciones superiores y la rosca donde se une la columna al apoyo. Se propone emplear las cargas descritas en el Apartado 5.1.2 para realizar un estudio de la resistencia del perfil UPN200 a los puntos de máxima tensión.

7.2.3 Diseño de estructura adyacente para observación del ejercicio por parte de los instructores

Se propone como proyecto futuro un objetivo secundario que no se ha alcanzado. Con él se pretende diseñar una plataforma elevada a una altura suficiente para que los instructores puedan observar la realización del ejercicio y efectuar las correcciones necesarias. Mientras no se realice este proyecto se propone el empleo de un dron con cámara que permita grabar la ejecución y analizarla posteriormente.

7.2.4 Explanación y cimentación del terreno donde ubique el escenario

Las zonas propuestas en el Apartado 3.2 tienen las dimensiones adecuadas, pero el terreno no cumple los requisitos para instalar una estructura. Es necesario realizar un estudio del terreno para determinar el volumen de tierra necesario para crear una superficie plana y diseñar la cimentación sobre la que se colocarán las columnas y los anclajes.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Google Maps. *Google Maps*. [En línea] [Citado el: 27 de Enero de 2016.] <http://www.maps.google.com>.
2. Junta de Doctrina de Infantería de Marina. El Pelotón de Fusiles. *D-RIM_351*. 2012.
3. Sitio Web OTAN. NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION. [En línea] 9 de Noviembre de 2015. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] http://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_70759.htm?selectedLocale=en#.
4. BRIGADA LIGERA AEROTRANSPORTABLE GALICIA VII. Video BRILAT Institucional 2014. [En línea] 2014. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] <http://www.ejercito.mde.es/unidades/Pontevedra/brilat/Multimedia/Video-BRILAT-Institucional-2014/Video-BRILAT-Institucional-2014.html>.
5. Capitán Iglesias Sánchez, Oscar Iván. *INFORME 02/08*. CÁDIZ : s.n., 2008.
6. Ejército de Tierra. Instrucción y Adiestramiento en El Goloso. [En línea] 26 de Junio de 2014. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] <https://www.youtube.com/watch?v=yZrhoCxHnBk>.
7. Barrios, Ángel. Nuevo parque infantil de Torregamones. [En línea] 10 de Octubre de 2012. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] <http://torregamon.es/2012-10-10-nuevo-parque-infantil-de-torregamones/>.
8. Código Técnico de Edificación. Documento básico de Seguridad de la utilización y Accesibilidad. [En línea] 22 de Diciembre de 2015. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-seguridad-utilizacion-accesibilidad>.
9. Maderas Hermanos Guillén e hijos SL. Hermanos Guillén. [En línea] 25 de Abril de 2013. [Citado el: 2 de Marzo de 2016.] <http://www.hguillen.com/2013/04/tableros-de-fibras-dm-o-mdf-y-hpl-o-compacto-fenolico/>.
10. Código Técnico de Edificación. Documento Básico SE-AE. [En línea] Abril de 2009. [Citado el: 20 de Marzo de 2016.] <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>.

11. Agencia Estatal de Meteorología. AEMET. [En línea] 29 de Febrero de 2016. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos*?w=0&k=g&l=1484C&datos=det&x=1484C&m=13&v=VMX.
12. Prof. Stevenson Rodriguez, Carolina. Metales Sistemas Esqueletales. [En línea] 17 de Julio de 2014. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] <http://es.slideshare.net/sistemasdeconstruccion/metales-sistemas-esqueletales>.
13. Rodríguez Borlado, Ramiro, Martínez Lasheras, Carlos y Martínez Lasheras, Rafael. *Prontuario de Estructuras Metálicas*. MADRID : CEDEX. Sección de edición, 2002. 84-7790-371-9.
14. Agencia Estatal de Meteorología. AEMET. [En línea] Marzo de 2016. [Citado el: 23 de Marzo de 2016.] http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/superacion_umbrales?p=36&w=0
15. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-A. [En línea] 19 de Octubre de 2007. [Citado el: 30 de Marzo de 2016.] <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-A.pdf>.
16. Cadenas y Trincajes SL. Cables Estructurales. *Cables y cordones. Acero inoxidable*. [En línea] 2015. [Citado el: 30 de Marzo de 2016.] <http://www.cablesestructurales.com/wp-content/uploads/2015/01/Catalogo-%20Cables%20inoxidables.pdf>.
17. Argüelles Álvarez, Ramón, y otros. *Estructuras de acero. Fundamento y cálculo según CTE, EAE y EC 3*. MADRID : BELLISCO, 2013. 978-85-92970-52-0.
18. Cadenas y Trincajes SL. Cables Estructurales. [En línea] 2015. [Citado el: 30 de Marzo de 2016.] <http://www.cablesestructurales.com/portfolio-item/tensor-pprensar-con-horquilla-torneada/>.
19. Incafe2000 SL. Incafe2000. *Vigas UPN*. [En línea] 2016. [Citado el: 30 de Marzo de 2016.] http://www.incafe2000.es/lng/Esp/Producte/producte/UPN-200/cat/Viga_UPN.

ANEXO I: REALIZACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL CON SKETCHUP

SketchUp 2016 es un programa desarrollado por Google™ cuya versión gratuita se puede descargar directamente de la página web <https://www.sketchup.com/es/download>. Se ha empleado este programa para realizar el modelo tridimensional de la estructura. Los pasos necesarios con las instrucciones empleadas se detallan a continuación divididos en tres apartados fundamentales:

A1.1 Creación de plantilla completa

En primer lugar se crea una plantilla con todas las columnas y paneles posibles, que se emplea posteriormente para construir el ejemplo mediante la eliminación de los elementos sobrantes. Para ello se comienza abriendo el programa y seleccionando la plantilla más adecuada para el trabajo a realizar, que en este caso es “Diseño arquitectónico – Metros” como se ve en la Figura A1-1. Una vez seleccionado se pulsa en el botón “Empezar a utilizar SketchUp” para comenzar el diseño.

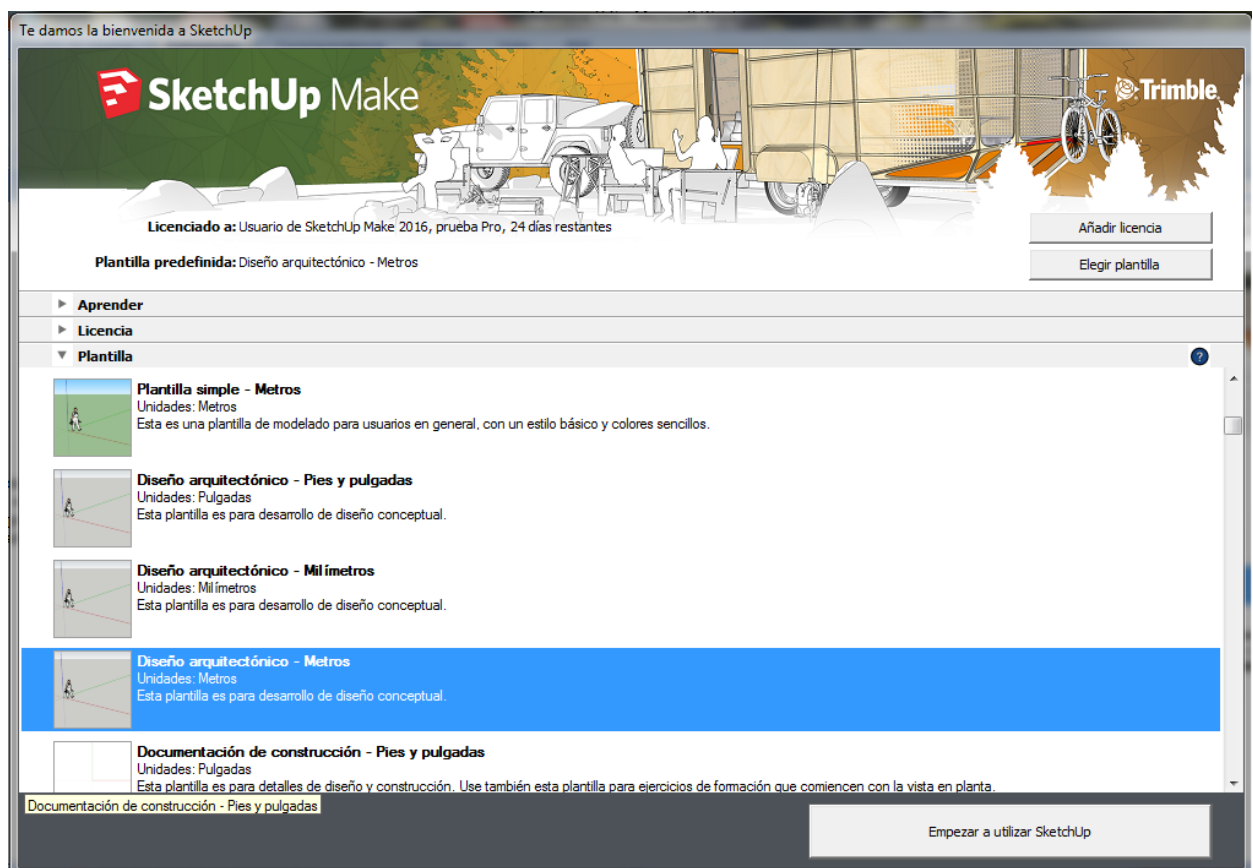


Figura A1-0-1 Ventana inicial SketchUp

La forma más simple de crear una estructura con un patrón que se repite es crear dicho patrón para posteriormente duplicarlo tantas veces como sea necesario. En este proyecto el patrón está compuesto por una columna, su sujeción superior, dos paneles de lados perpendiculares y los cables correspondientes a los paneles. Para crearlo se comienza dibujando el cuadrado que será la base de la columna, marcando primero las medidas con puntos auxiliares usando la herramienta Medir  y posteriormente usar la herramienta Cuadrado  para definirlo (véase Figura A1-2).

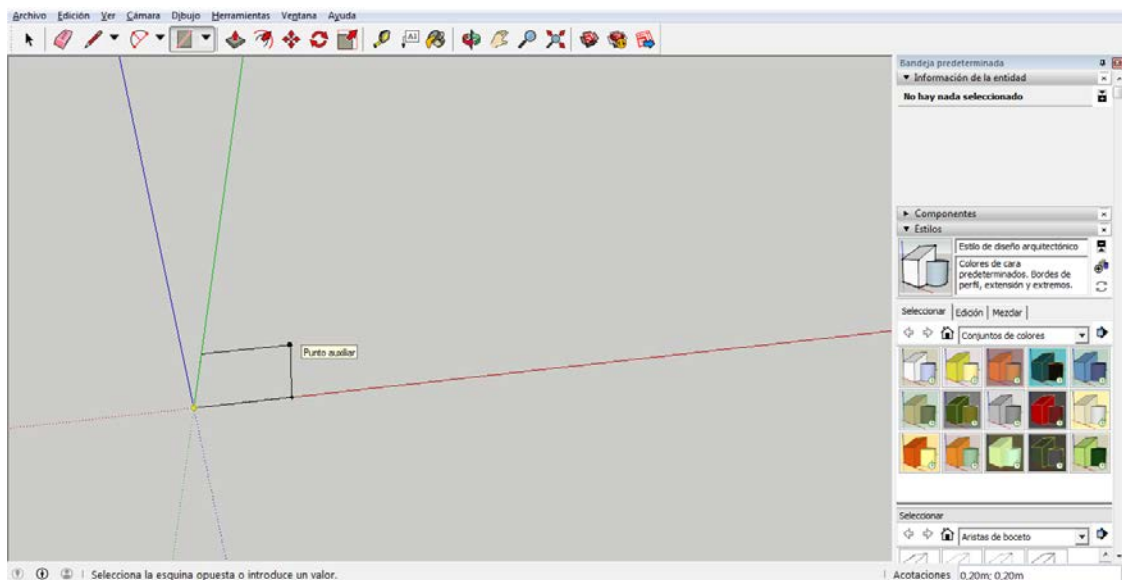


Figura A1-0-2 Creación base columna

Una vez creada la base de la columna, se extruye con la herramienta Empujar/Tirar  hasta la medida marcada con la herramienta Medir , quedando como muestra la Figura A1-3].

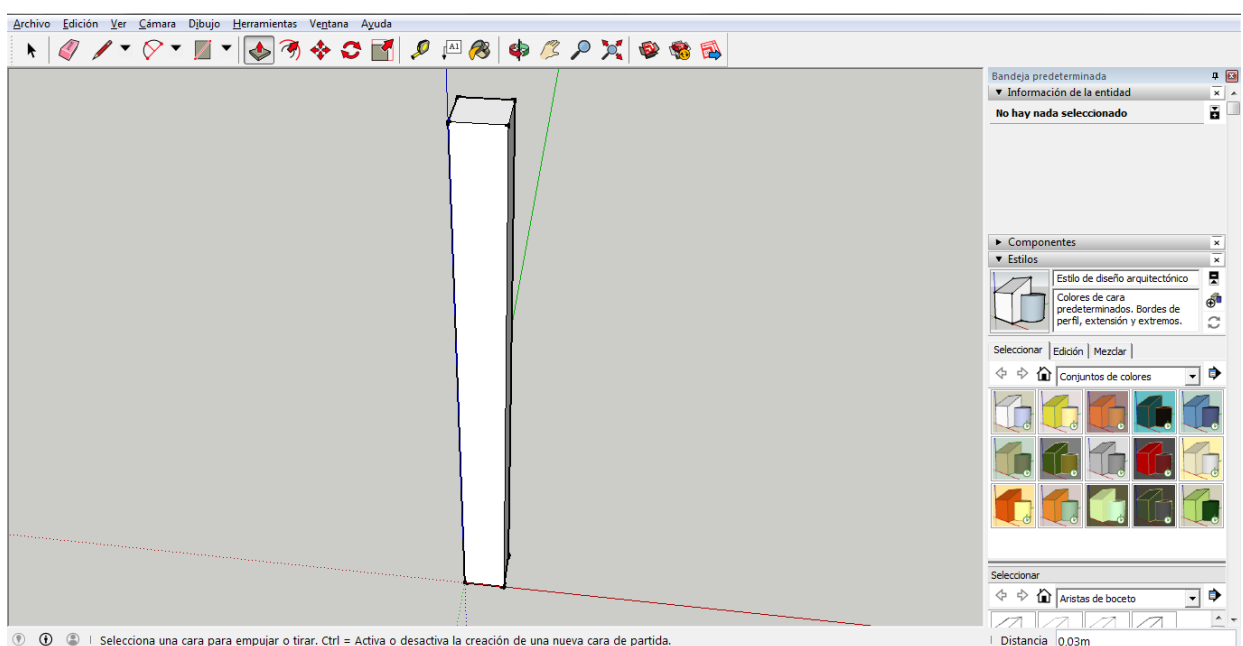


Figura A1-0-3 Creación de la columna

Se repite un proceso similar para crear una representación simplificada de la sujeción superior de la columna mediante una abrazadera cuadrada, como se muestra en la Figura A1-4.

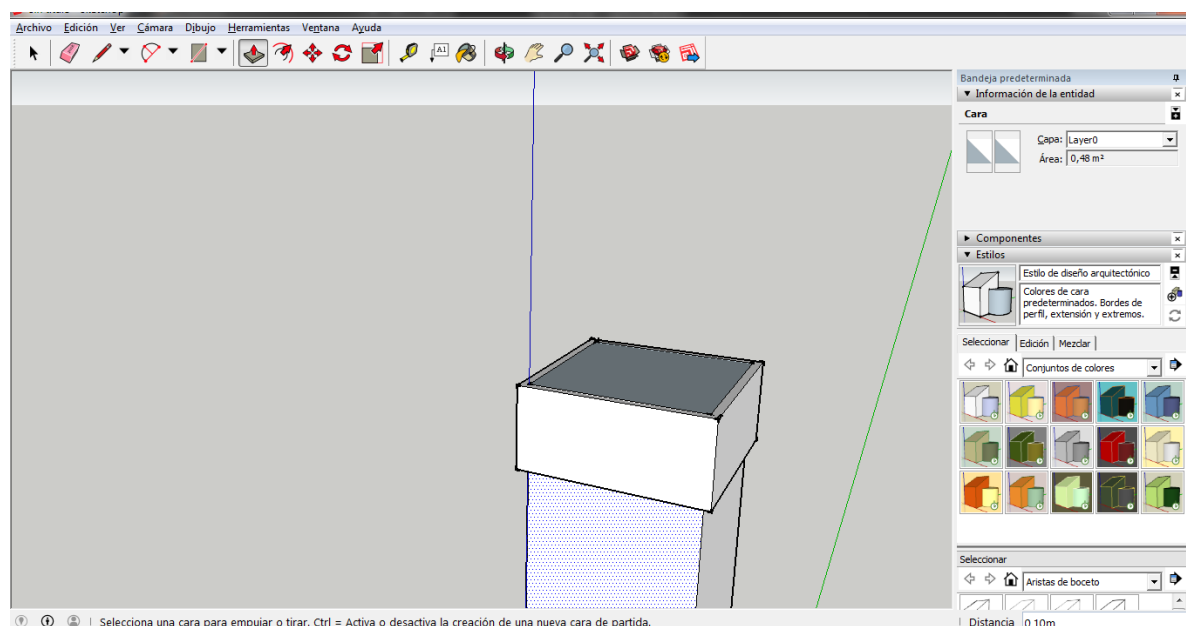


Figura A1-0-4 Creación sujeción superior

Antes de crear los paneles, se emplean puntos auxiliares para marcar el origen del rectángulo base en un punto separado 5cm de la columna (debido a los apoyos columna-panel) y elevado 10 cm sobre el suelo, véase Figura A1-5. El resto del proceso se realiza con la herramienta Empujar/Tirar  y se repite para construir el otro panel, resultando la Figura A1-6.

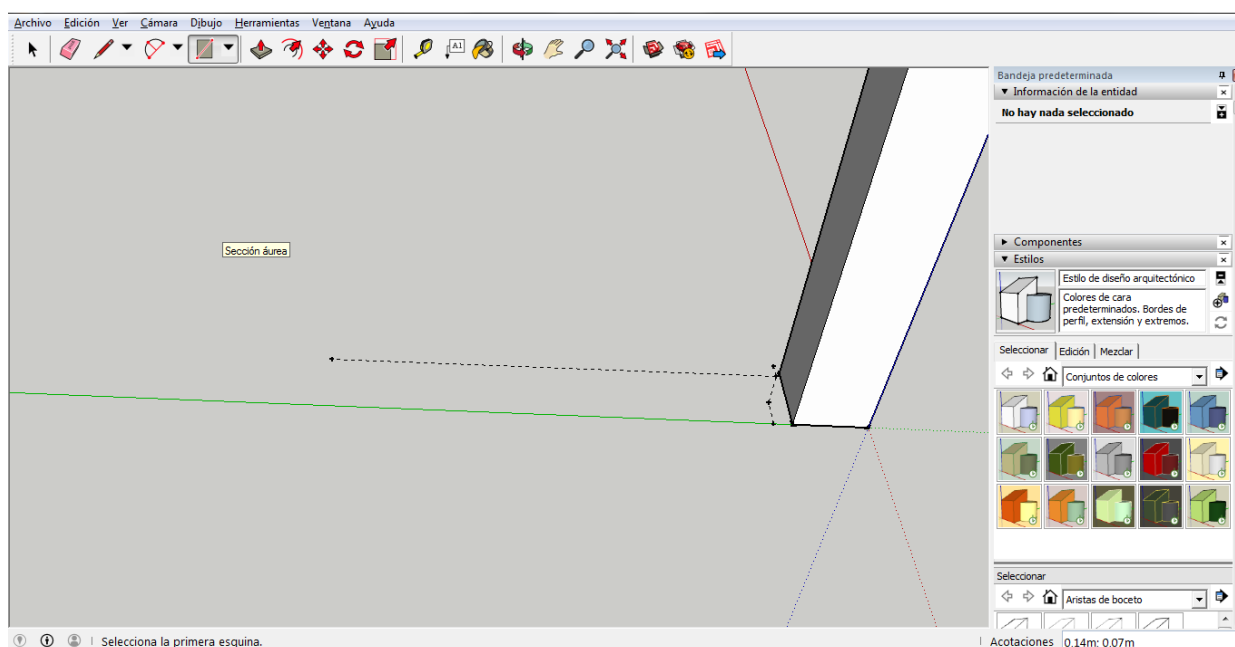


Figura A1-0-5 Referencias para base del panel

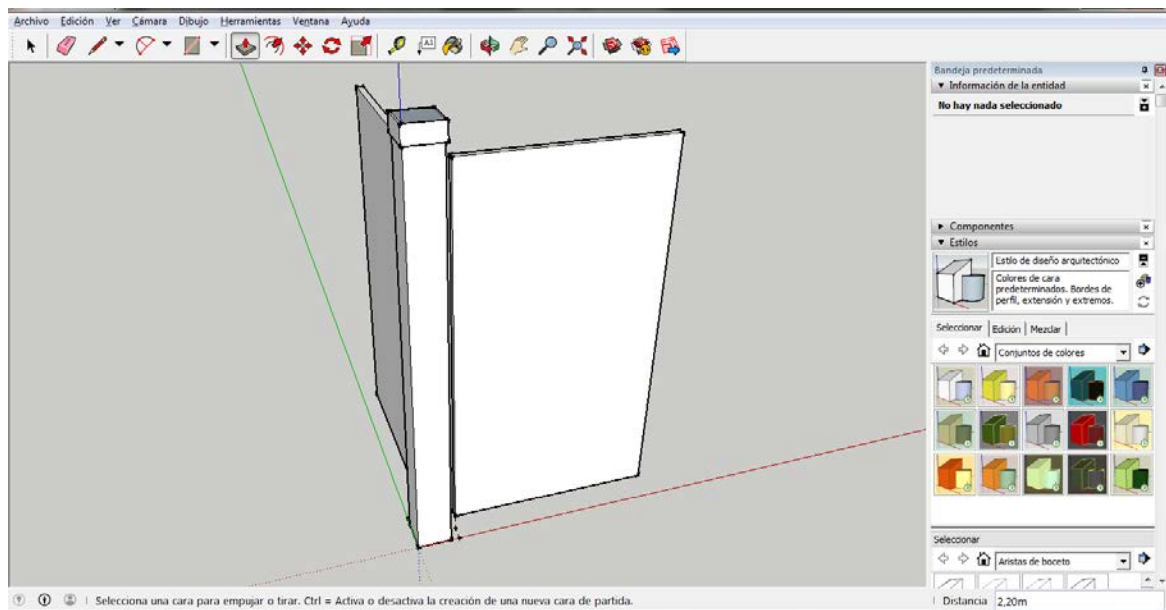


Figura A1-0-6 Creación paneles adyacentes

Para dibujar los cables de unión entre paneles, se marcan puntos de referencia en los centros de 2 caras perpendiculares de la sujeción superior y los opuestos. También se añaden puntos auxiliares en los lugares donde debería encontrarse el inicio de la columna adyacente, que son empleados al replicar el patrón (véase Figura A1-7). Los cables se dibujan con la herramienta Líneas  entre los puntos auxiliares marcados, resultando la Figura A1-8].

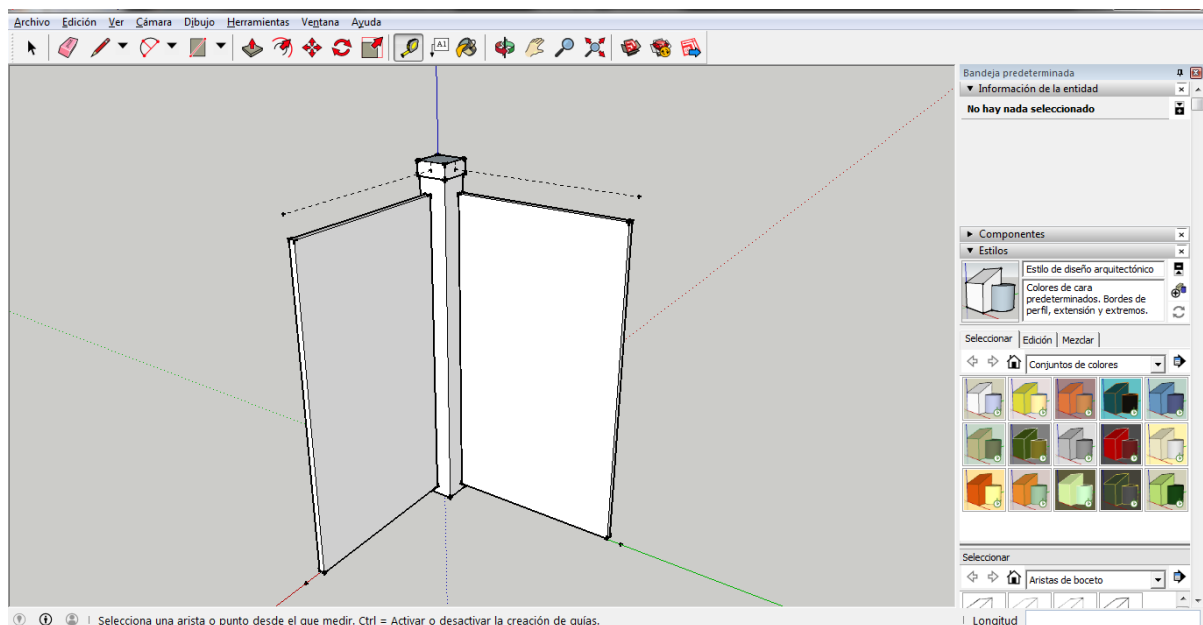


Figura A1-0-7 Referencias para cables

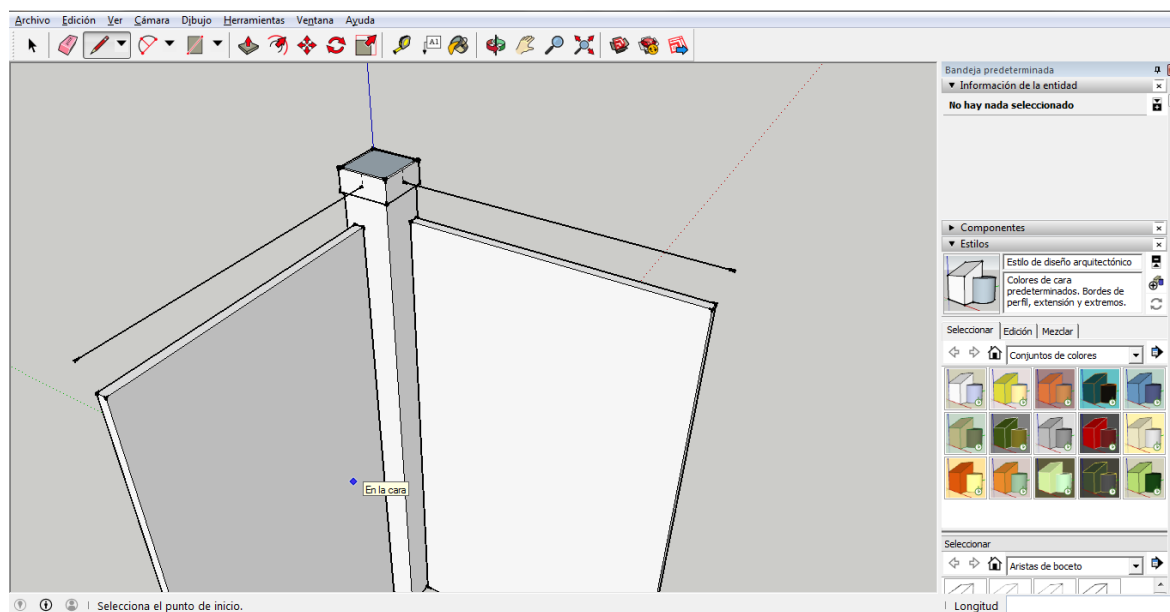


Figura A1-0-8 Creación de cables entre columnas

Para añadir una textura a los diferentes componentes, se seleccionan y se despliega el menú de opciones con el botón derecho del ratón (véase Figura A1-9). Con la opción “Añadir textura fotográfica” se puede copiar una textura de una imagen de Google StreetView™ (véase Figura A1-10) y aplicarla al elemento seleccionado para obtener la Figura A1-11

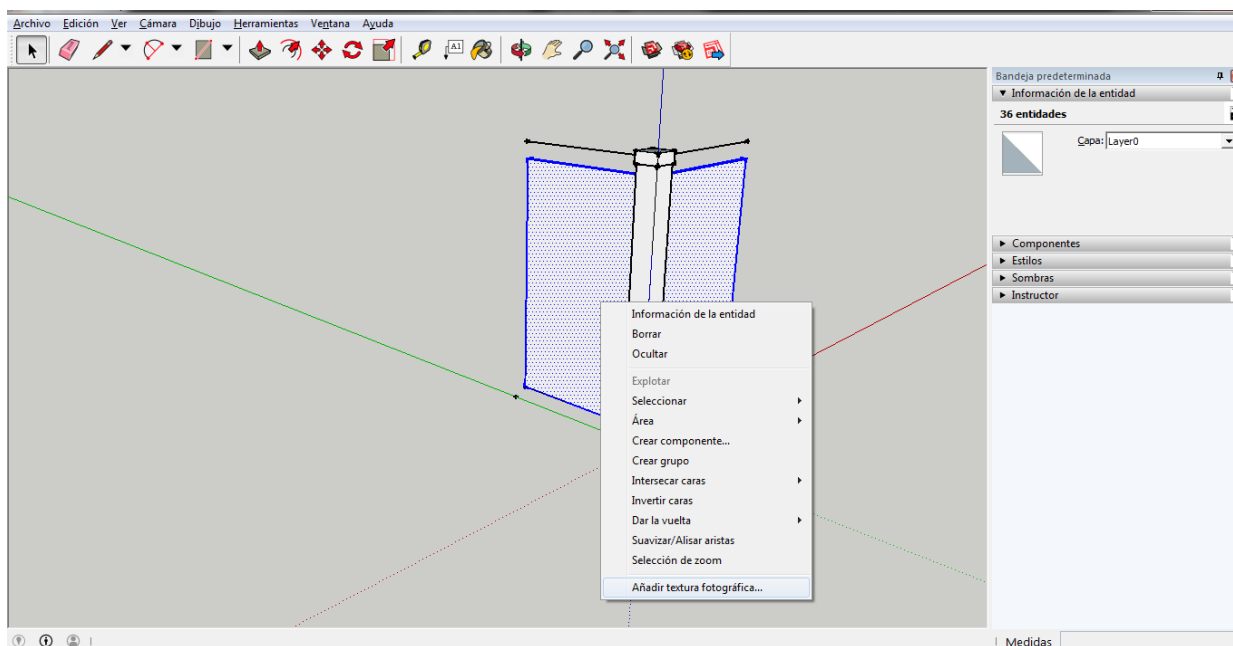


Figura A1-0-9 Menú de Opciones



Figura A1-0-10 Copia de textura en StreetView

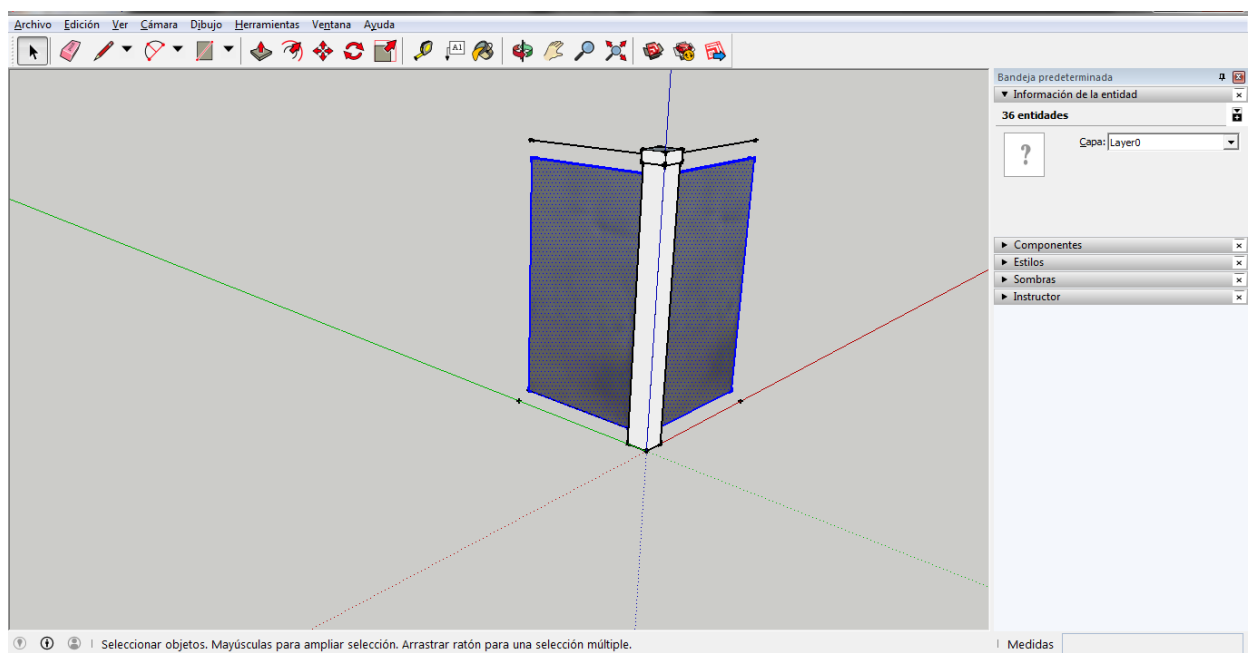


Figura A1-0-11 Paneles con textura

Seleccionando la textura para todos los componentes se obtiene un patrón con textura que determina el diseño final de todo el modelo (véase [Figura A1-11]).

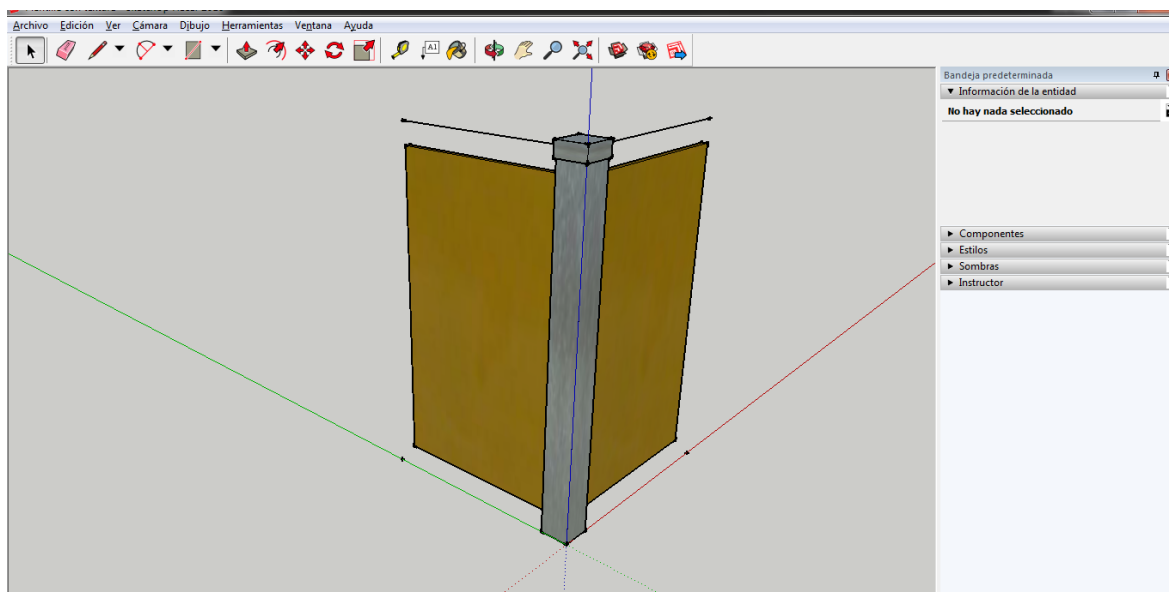


Figura A1-0-12 Patrón con textura

Con el patrón ya finalizado se selecciona todo el conjunto con la herramienta Seleccionar , se copia con el comando “Ctrl + C” y se pega con el comando “Ctrl + V” (véase Figura A1-13). Para que la ubicación sea precisa se emplea la herramienta Mover , haciendo click sobre la esquina correspondiente de la nueva base y luego sobre el punto auxiliar (véase Figura A1-14).

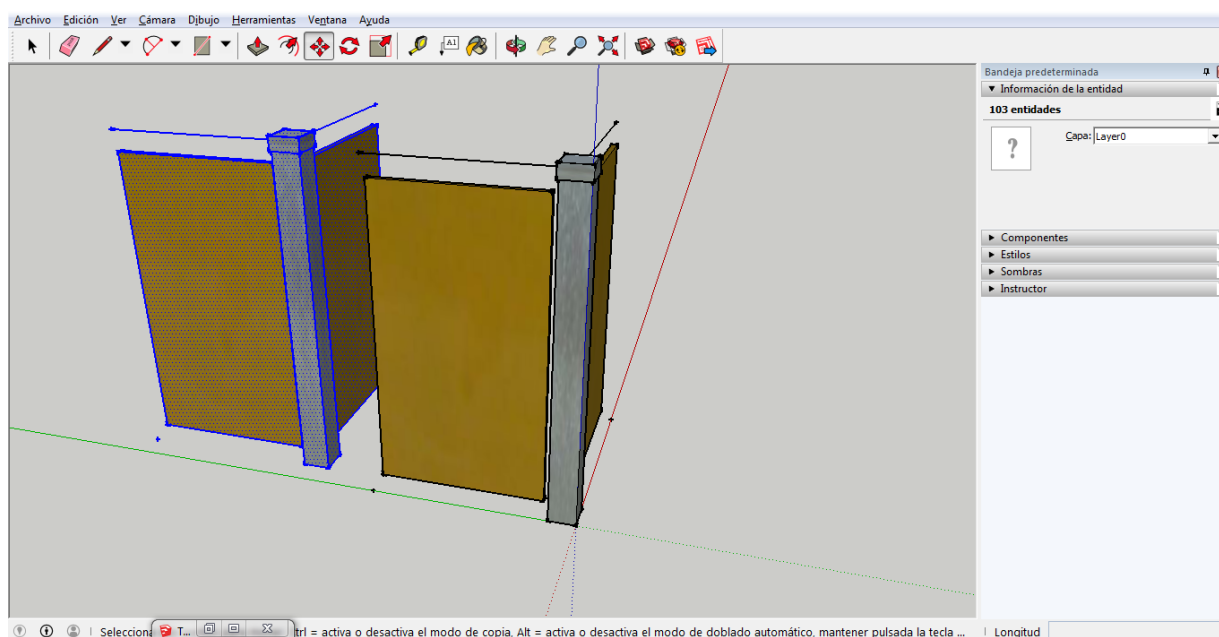


Figura A1-0-13 Copia del patrón

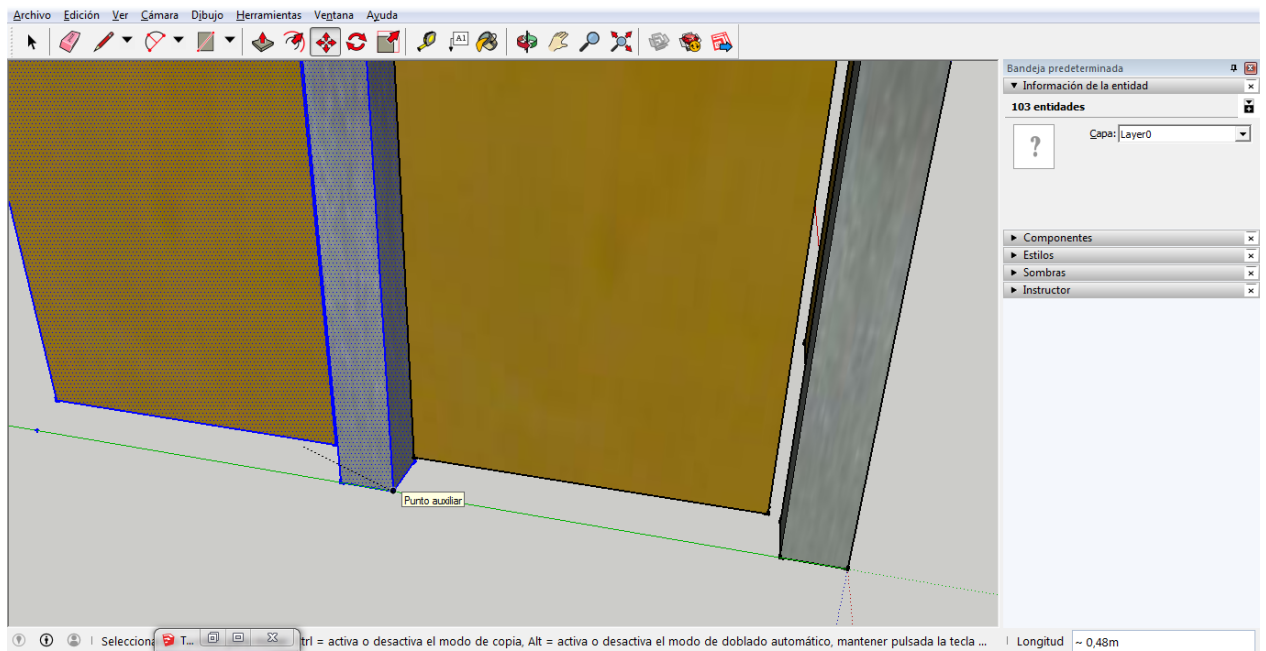


Figura A1-0-14 Desplazamiento de la copia del patrón

Como son necesarias 15 columnas por fila, se replica una vez más el patrón y se selecciona el conjunto de las tres copias (véase Figura A1-15) para luego replicarlo 5 veces y así obtener una fila completa más rápidamente, como se observa en la Figura A1-16.

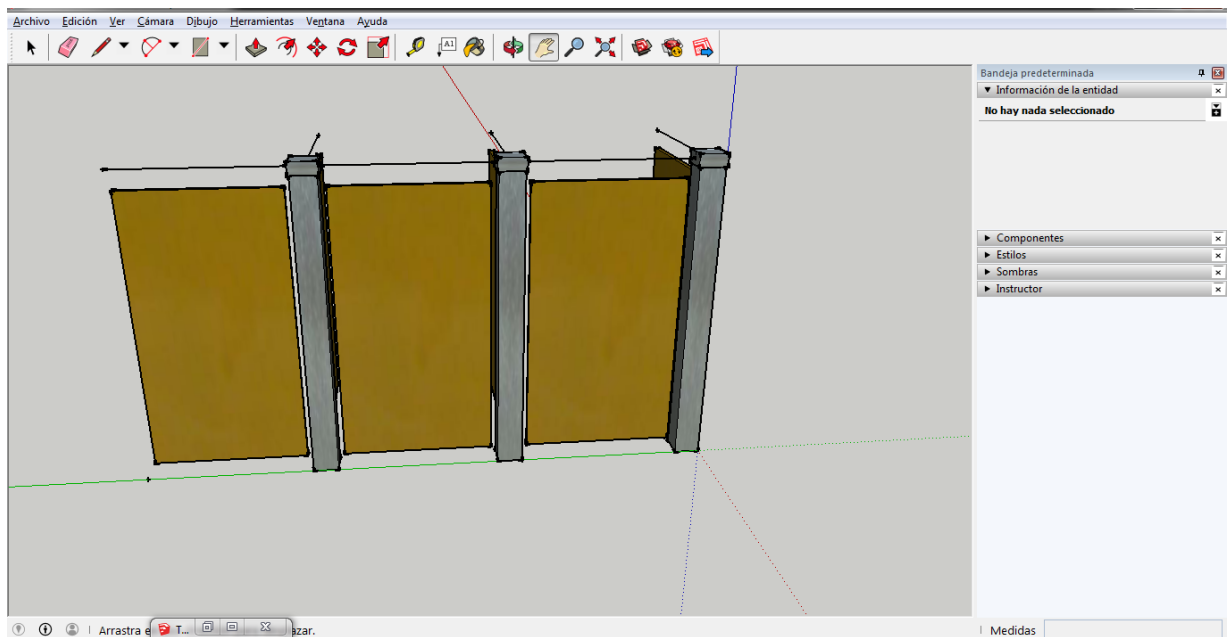


Figura A1-0-15 Conjunto de 3 patrones

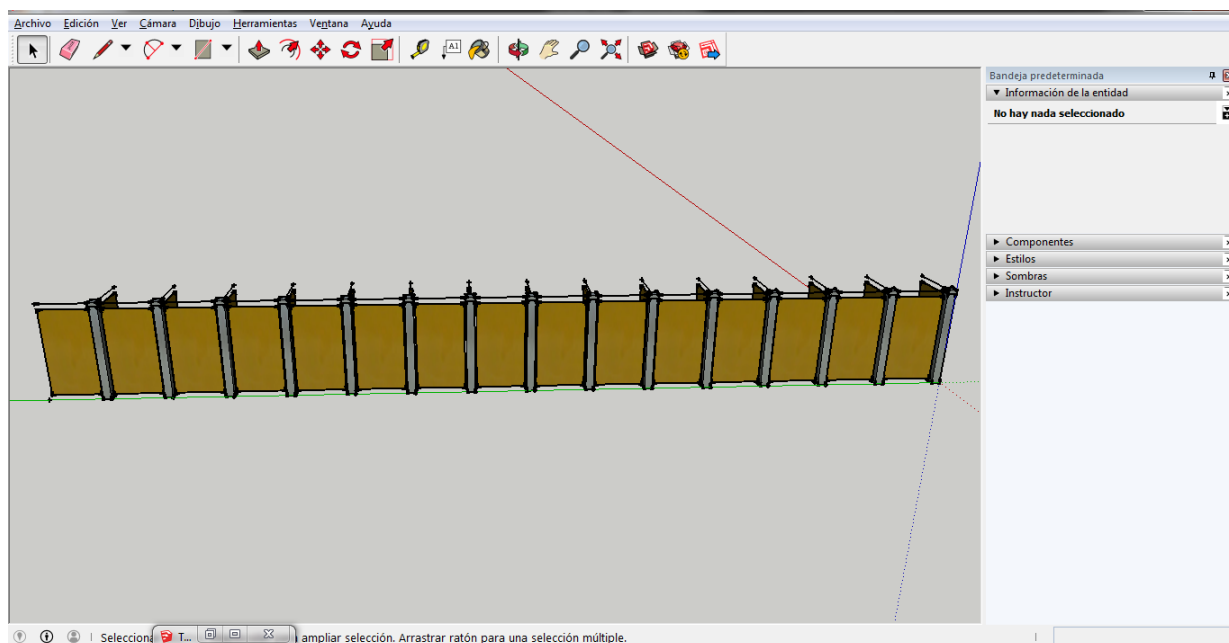


Figura A1-0-16 Repetición del patrón 15 veces

Al ser 15 columnas es necesario eliminar el último panel y su correspondiente cable y añadir los cables de los extremos, obteniendo así un patrón de fila completo con 15 columnas (véase Figura A1-17).

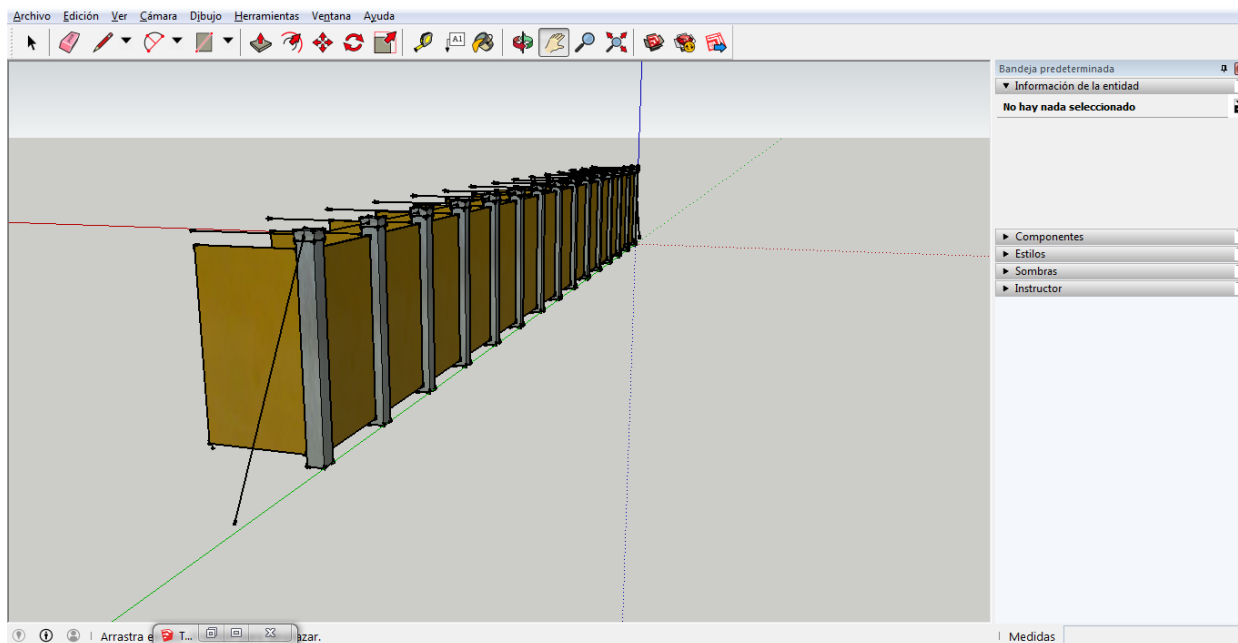


Figura A1-0-17 Patrón completo de fila de 15 columnas

Para crear el resto de la plantilla se selecciona la fila completa y se emplea el mismo procedimiento y los mismos comandos que para generar la fila:

- ✓ “Ctrl + C” “Ctrl + V” para crear 3 filas iguales Figura A1-18
- ✓ Seleccionar las tres filas.
- ✓ “Ctrl + C” “Ctrl + V” para crear 5 conjuntos de tres filas, lo que equivale a 15 filas Figura A1-19.

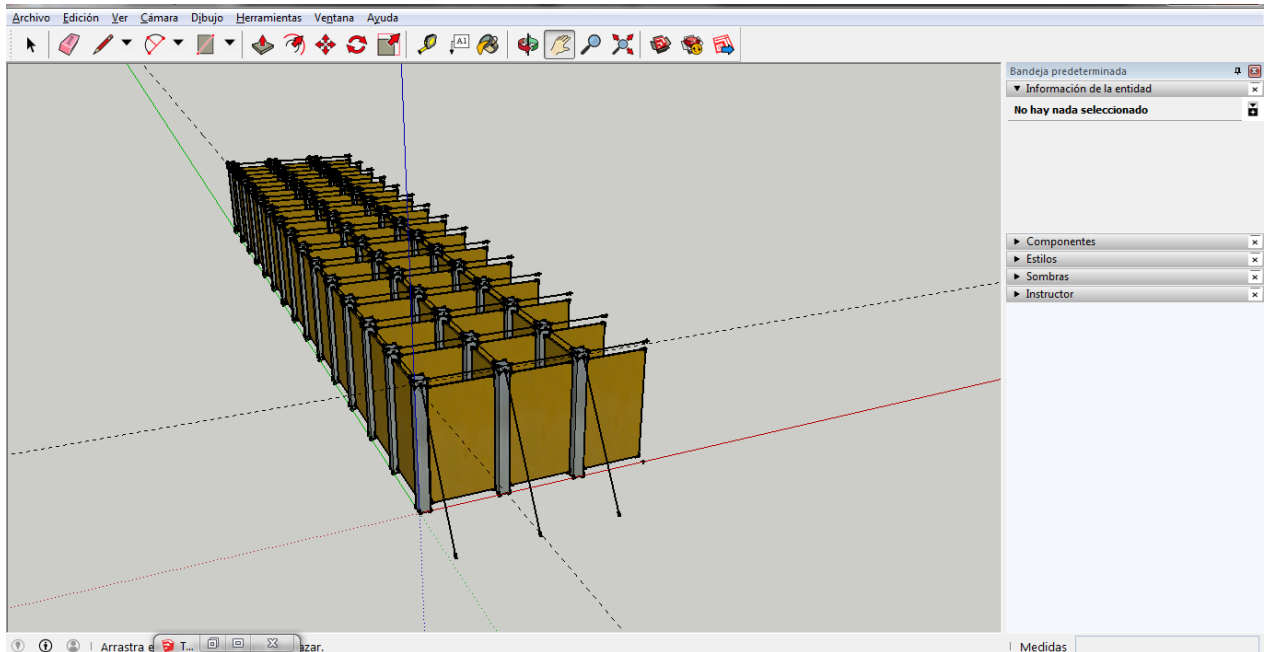


Figura A1-0-18 Conjunto de 3 filas

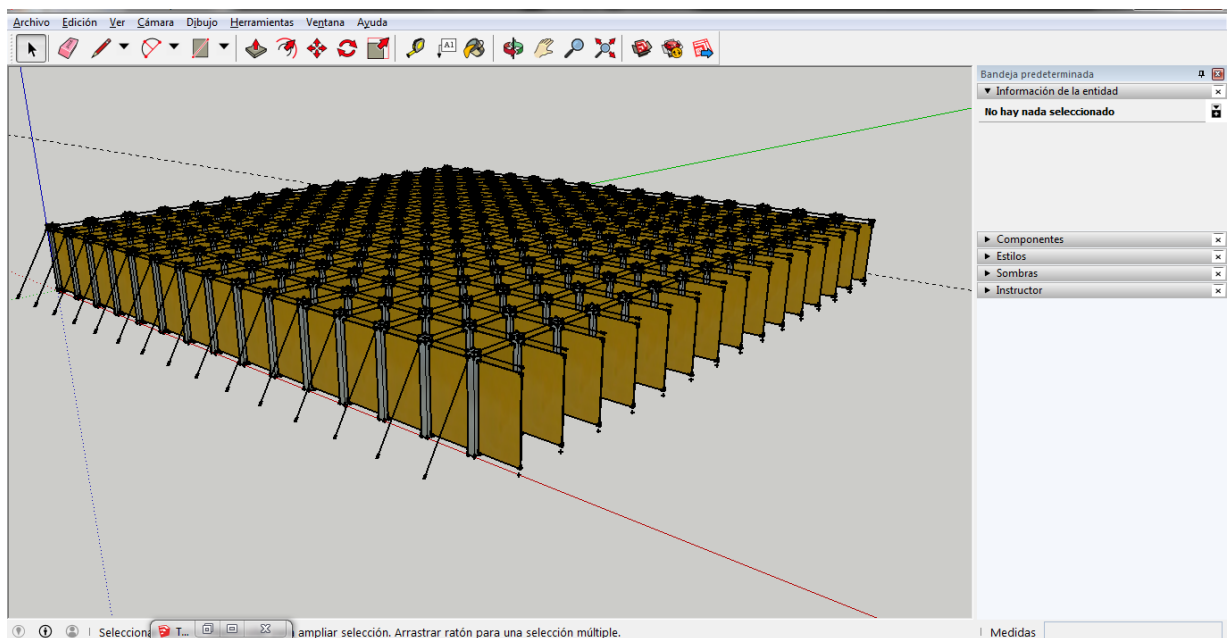


Figura A1-0-19 Conjunto de 15 filas

Para finalizar la plantilla es necesario eliminar la fila sobrante de paneles y añadir los cables de los extremos en los dos lados que faltan. La Figura A1-20 muestra la plantilla completa a partir de la cual se harán los diseños

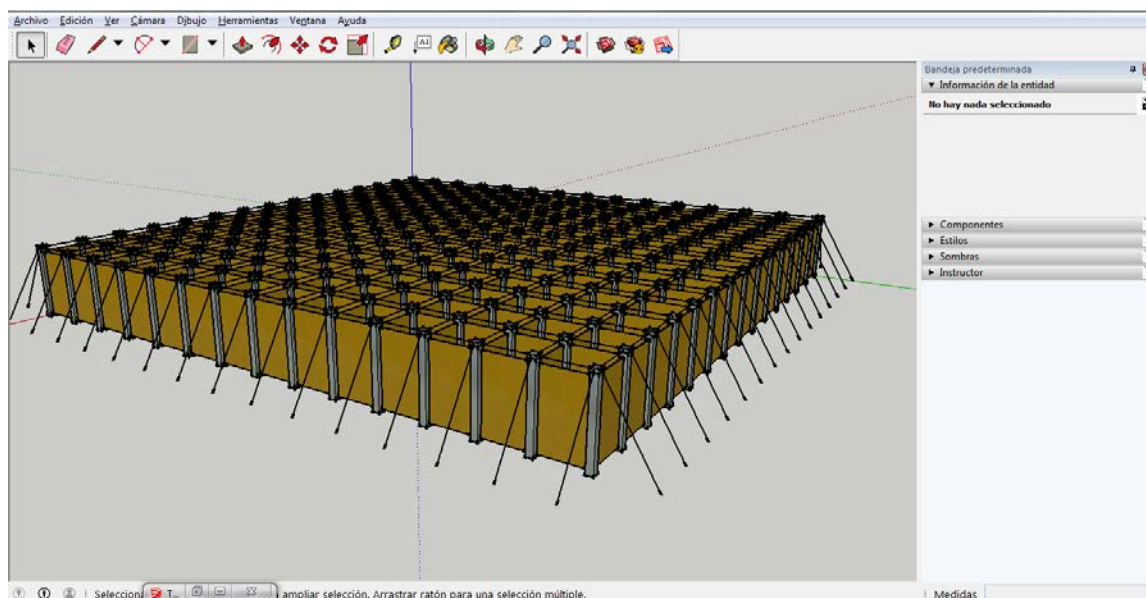


Figura A1-0-20 Plantilla completa

A1.2 Creación de un ejemplo de escenario

A partir de la plantilla resulta sencillo crear modelos tridimensionales de posibles escenarios de combate en población, ya que el proceso consiste en eliminar aquellos paneles o columnas que no sean necesarios. Para eliminar un panel se hace click sobre él tres veces y se elimina (véase Figura A1-21). El método es el mismo para eliminar una columna, aunque es necesario crear una réplica de la sujeción superior, ya que esa pieza debe permanecer en la estructura para mantener la estabilidad estructural.

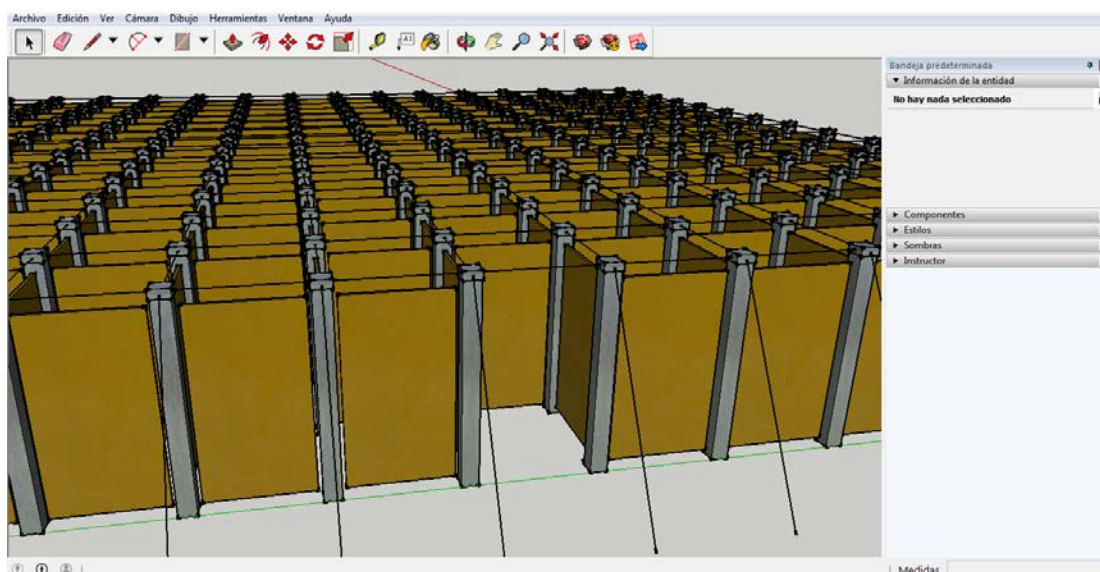


Figura A1-0-21 Resultado de eliminar un panel

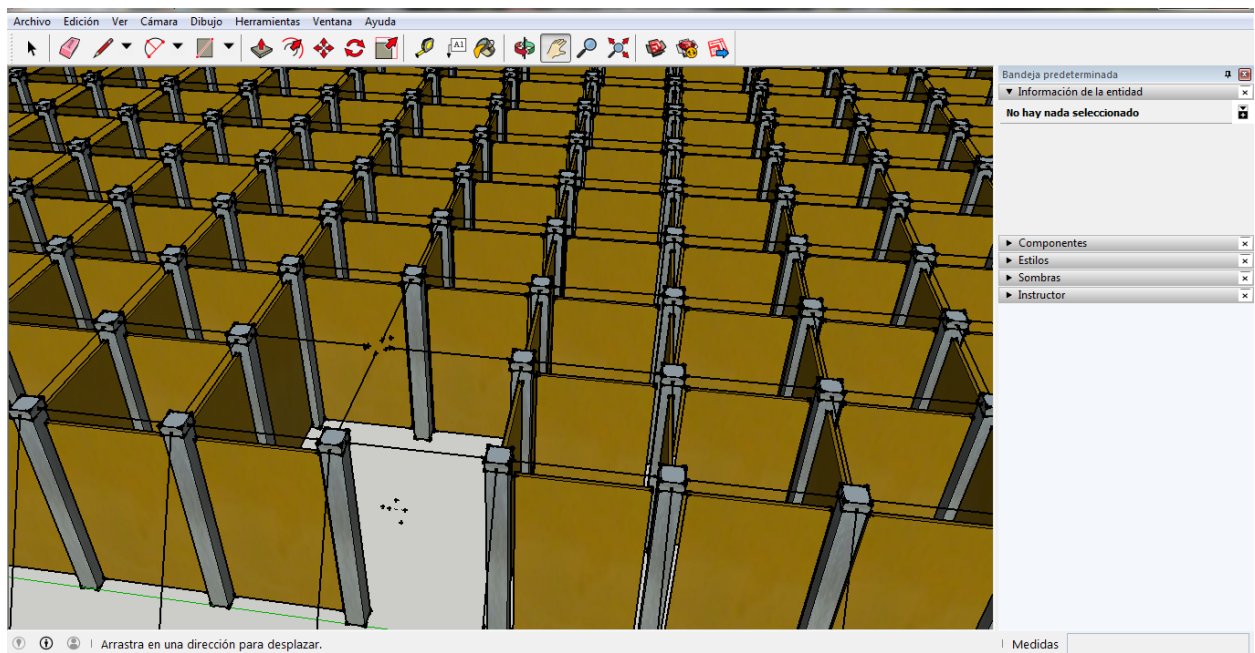


Figura A1-0-22 Resultado de eliminar una columna y sus cuatro paneles

Como se observa en la Figura A1-22 al eliminar una columna y sus cuatro paneles adyacentes, se obtiene un espacio libre para una estancia, sin embargo es necesario insertar una réplica del elemento de sujeción superior para mantener unidos los cables. La forma de posicionarlo es la misma que para las réplicas de los patrones (véase Figura A1-23).

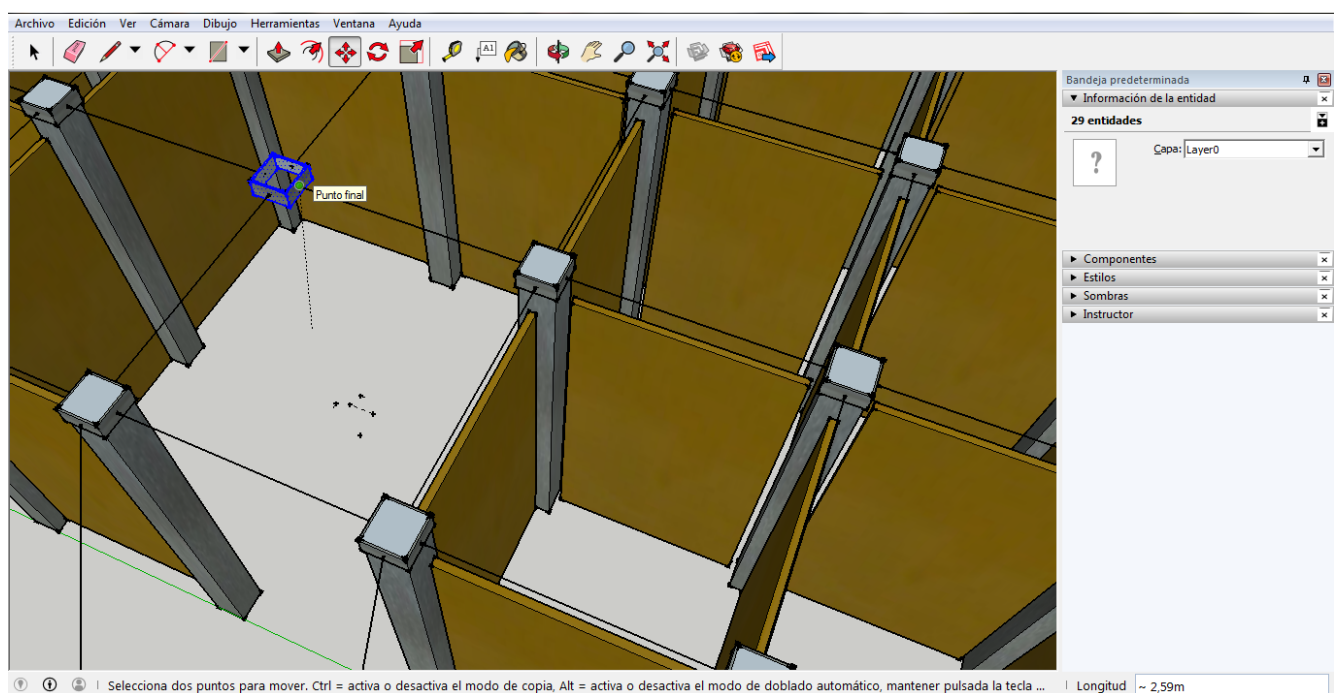


Figura A1-0-23 Colocación de sujeción superior

A1.3 Geolocalización del modelo tridimensional

Una vez creado el modelo tridimensional, se puede incorporar en una imagen aérea de su posible ubicación en la Escuela Naval Militar usando la herramienta “Geolocalización” del menú de “Archivo”, como muestra la Figura A1-24.

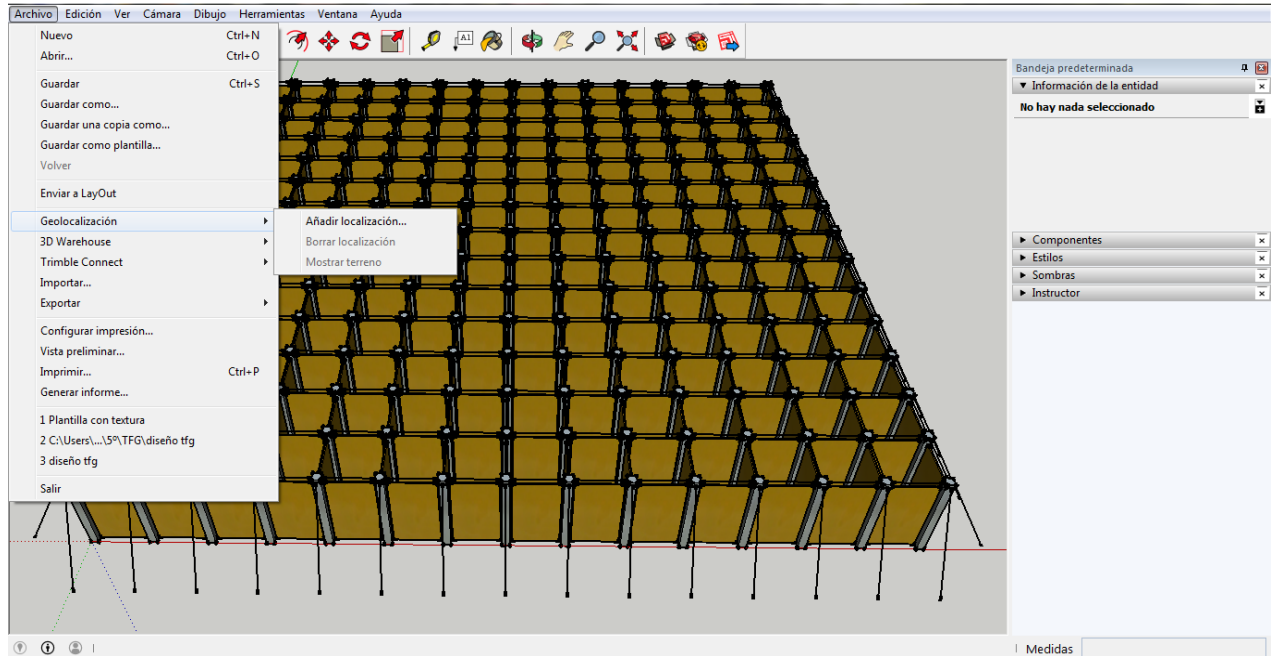


Figura A1-0-24 Menú de opciones para Geolocalización

Se localiza la ENM en la imagen satélite y se hace click en el botón “Seleccionar región” para definir el tamaño de la zona en la que se va a ubicar el modelo de la estructura. La Figura A1-25 muestra el área seleccionada.

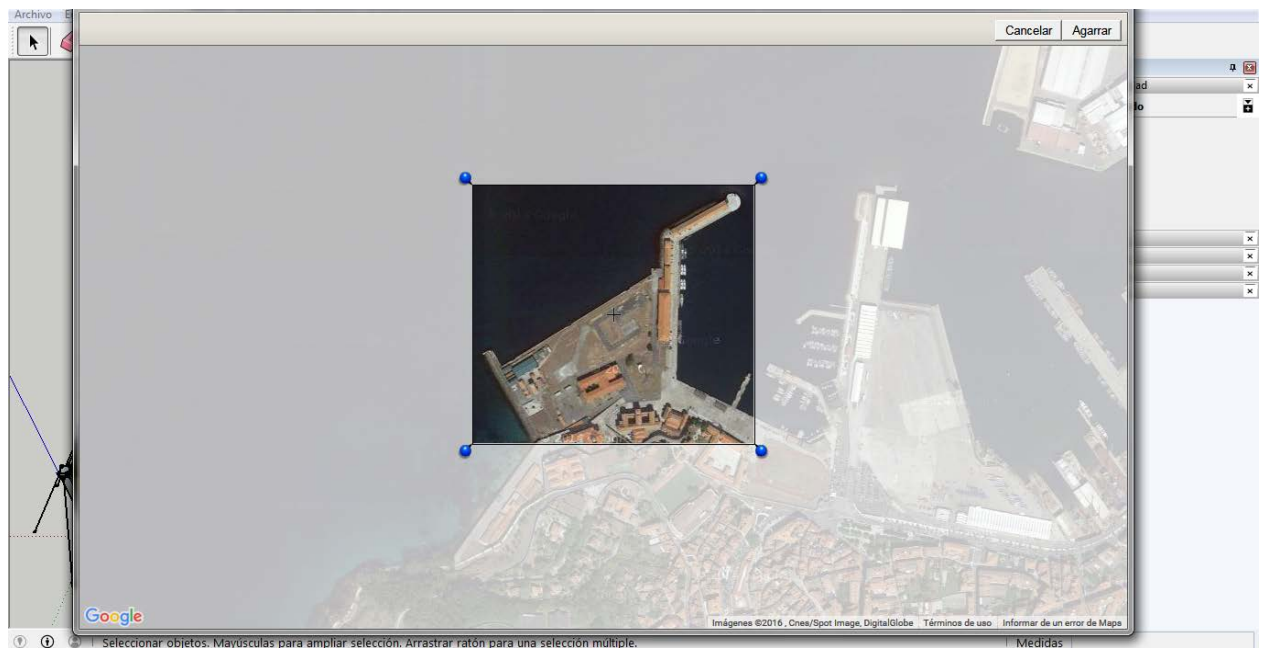


Figura A1-0-25 Región seleccionada en la ENM

Una vez añadida la imagen satélite se usa la herramienta Escala  para darle el tamaño adecuado al modelo de la estructura en función de la escala de la imagen satélite. Se emplean también las herramientas Mover  y Rotar  para posicionar la estructura en el lugar preciso. En la Figura A1-26 se muestra el modelo posicionado en la Zona 2, junto a la pista de toma de helicópteros.



Figura A1-0-26 Ejemplo de estructura ubicada en la ENM

ANEXO II: REALIZACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DEL ACOUPLE PANEL-COLUMNA CON NX8.5

El diseño del conjunto que permite colocar los paneles en las columnas engloba dos piezas principalmente: pieza hembra, soldada a la columna, y pieza macho, soldada a las abrazaderas que sujetan los paneles. El proceso creativo de diseño de estos elementos se encuentra en el Apartado 4.2 y a continuación se detallan los pasos seguidos en la creación de los modelos virtuales con SIEMENS NX 8.5.

A2.1 Creación del modelo de la pieza macho

El diseño comienza con un croquis con forma de triángulo isósceles, estando su vértice redondeado (véase Figura A2-1). El croquis se extruye para crear la forma básica de la pieza (véase Figura A2-2).

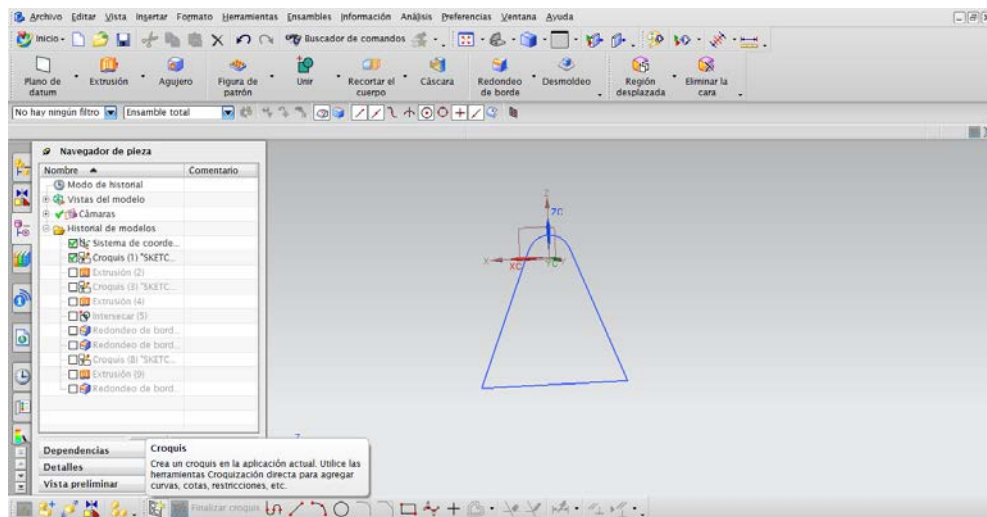


Figura A2-0-1 Croquis inicial pieza macho

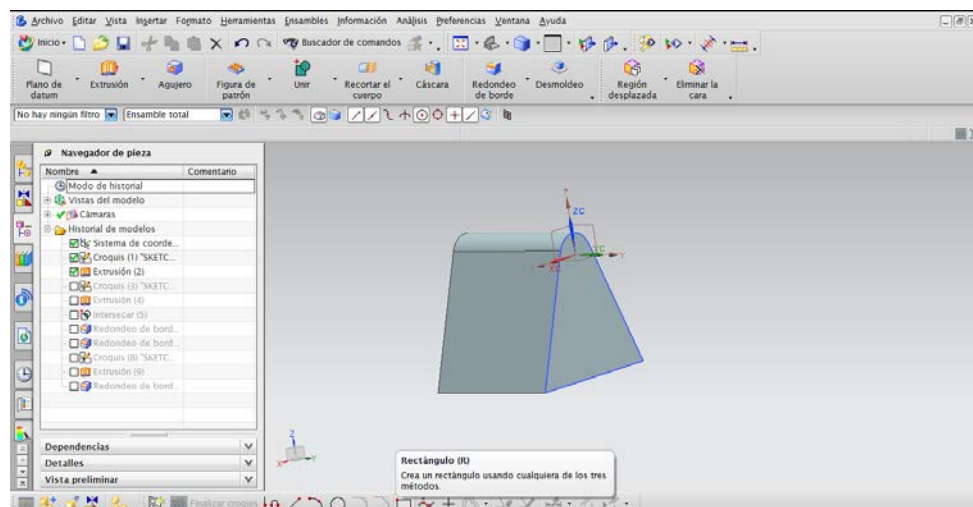


Figura A2-0-2 Forma básica de la pieza macho

Un segundo croquis perpendicular al anterior (véase Figura A2-3) se emplea para generar una extrusión que recorte la anterior (véase Figura A2-4) y le dé la forma deseada en el plano perpendicular al primero. Con la herramienta Intersecar  Intersecar del menú de configuración de la extrusión, se obtiene como resultado la zona común de dos extrusiones, que en este caso resulta en la Figura A2-5.

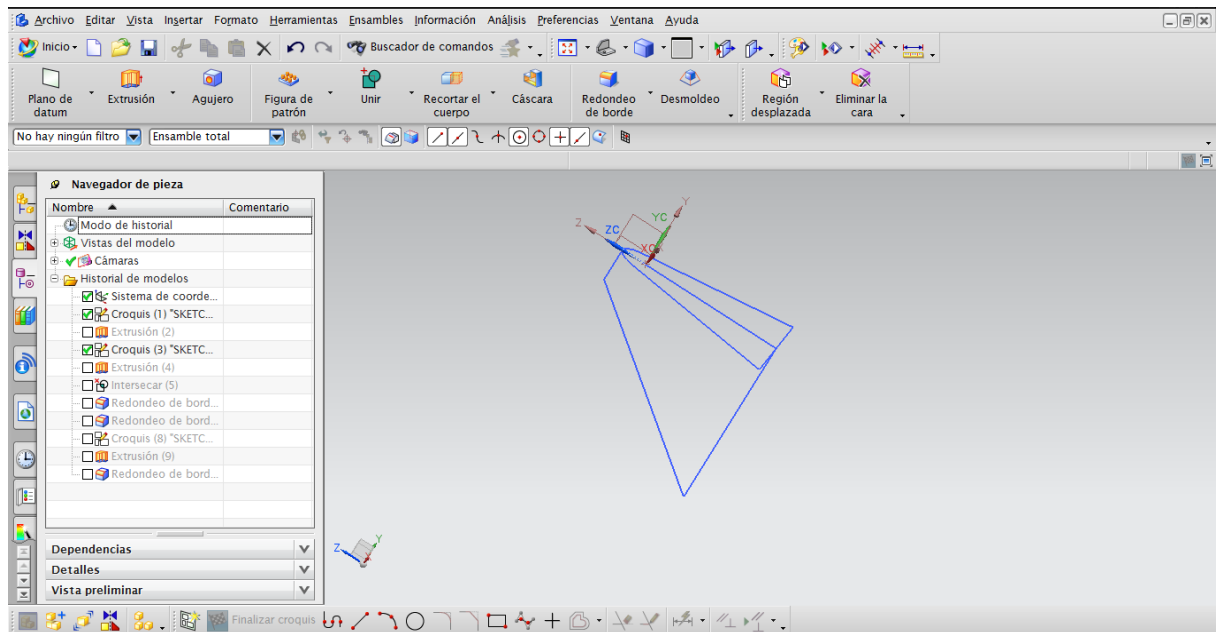


Figura A2-0-3 Segundo croquis para intersección

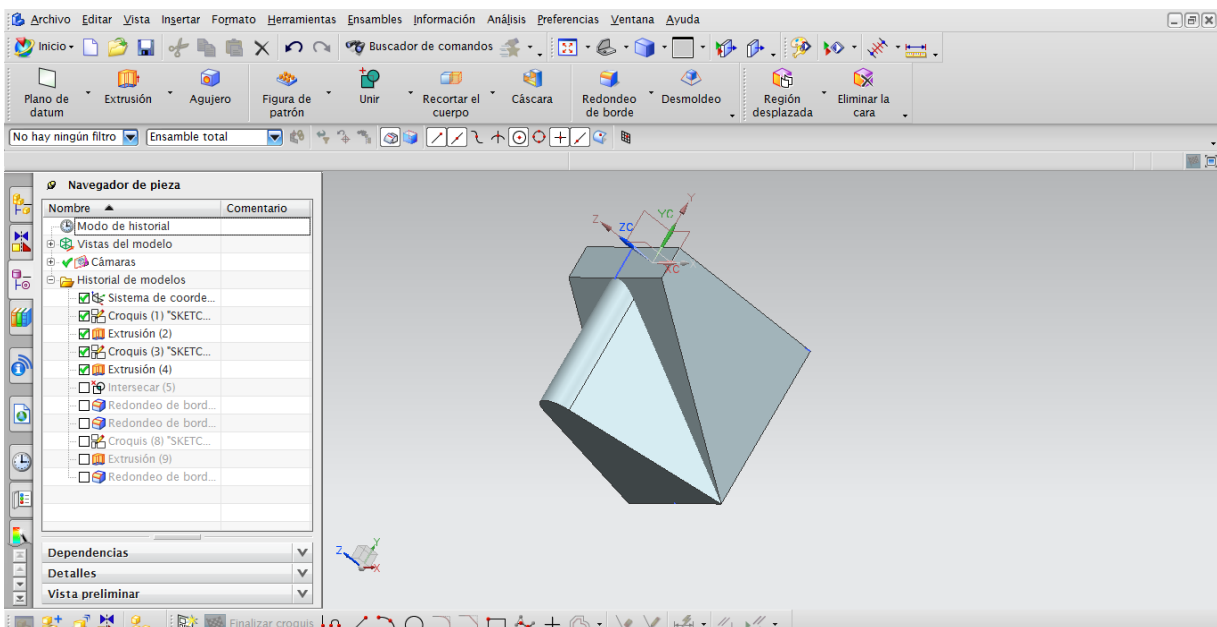


Figura A2-0-4 Unión de las dos extrusiones

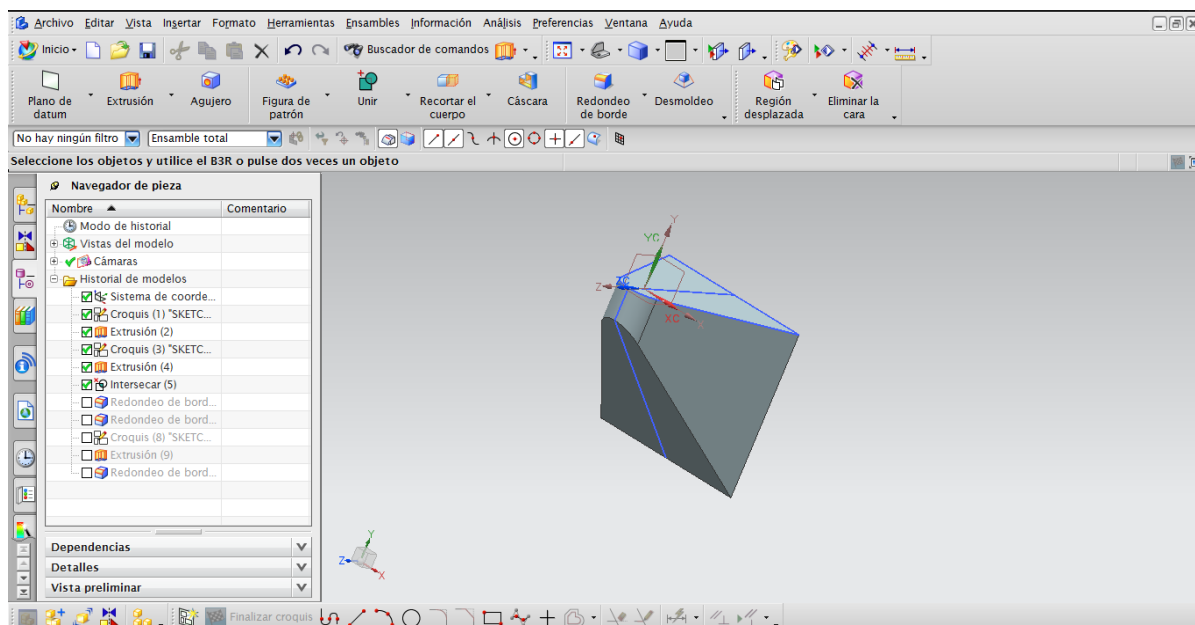


Figura A2-0-5 Intersección de las dos extrusiones

Para reducir los daños al personal que lo maneje y otros elementos de la estructura, se redondean los bordes de la pieza con la herramienta Redondeo de borde  (véase Figura A2-6).

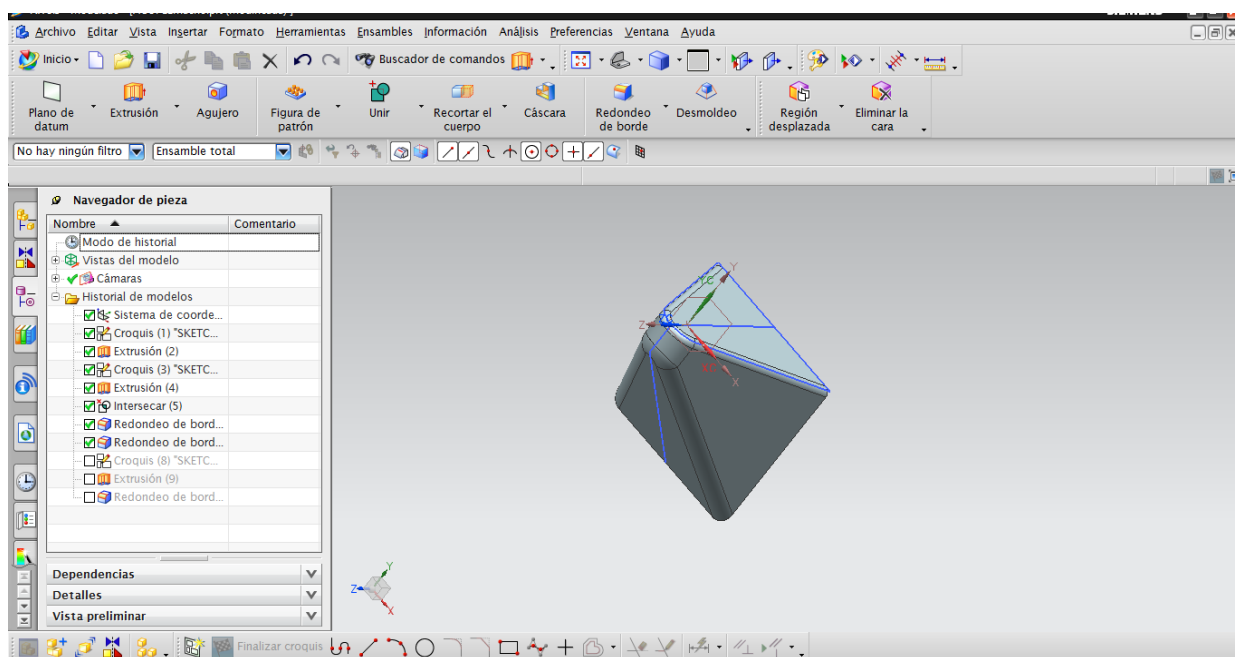


Figura A2-0-6 Pieza con bordes redondeados

El tetón que sirve de unión entre las dos piezas, se genera a partir de un croquis circular en el plano horizontal (véase Figura A2-7). El croquis se extruye y se redondea la parte superior para hacer más fácil el acoplamiento con la pieza hembra. La Figura A2-8 muestra el modelo final de la pieza.

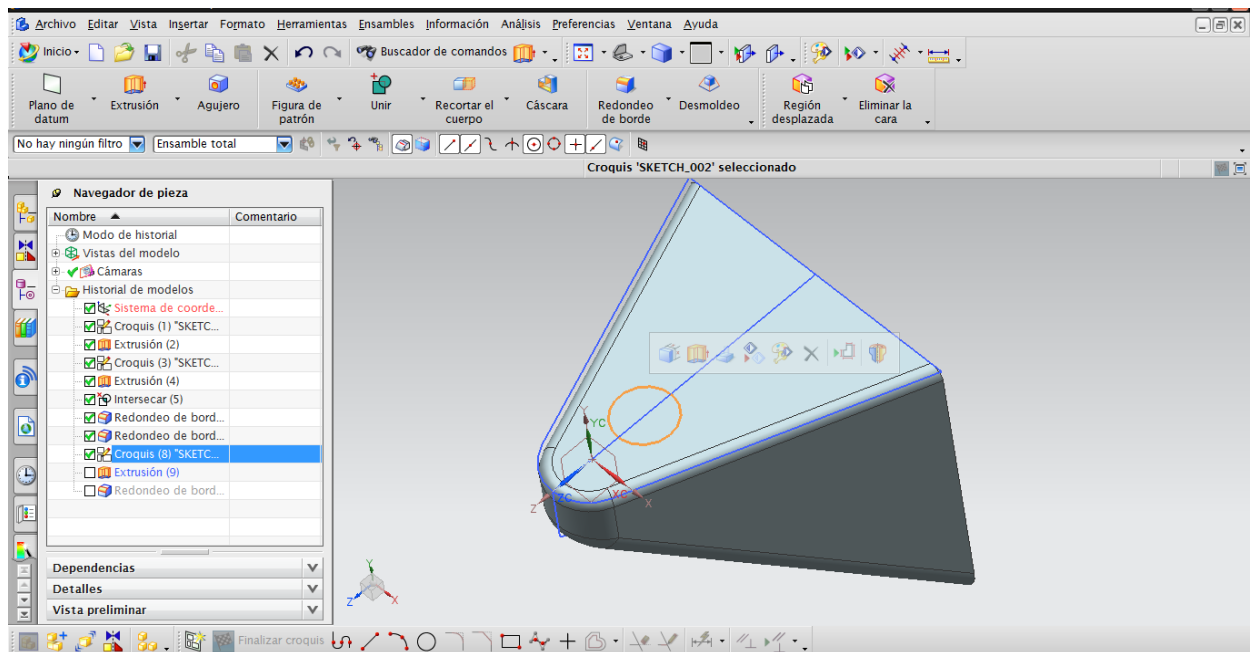


Figura A2-0-7 Croquis del tetón de la pieza macho

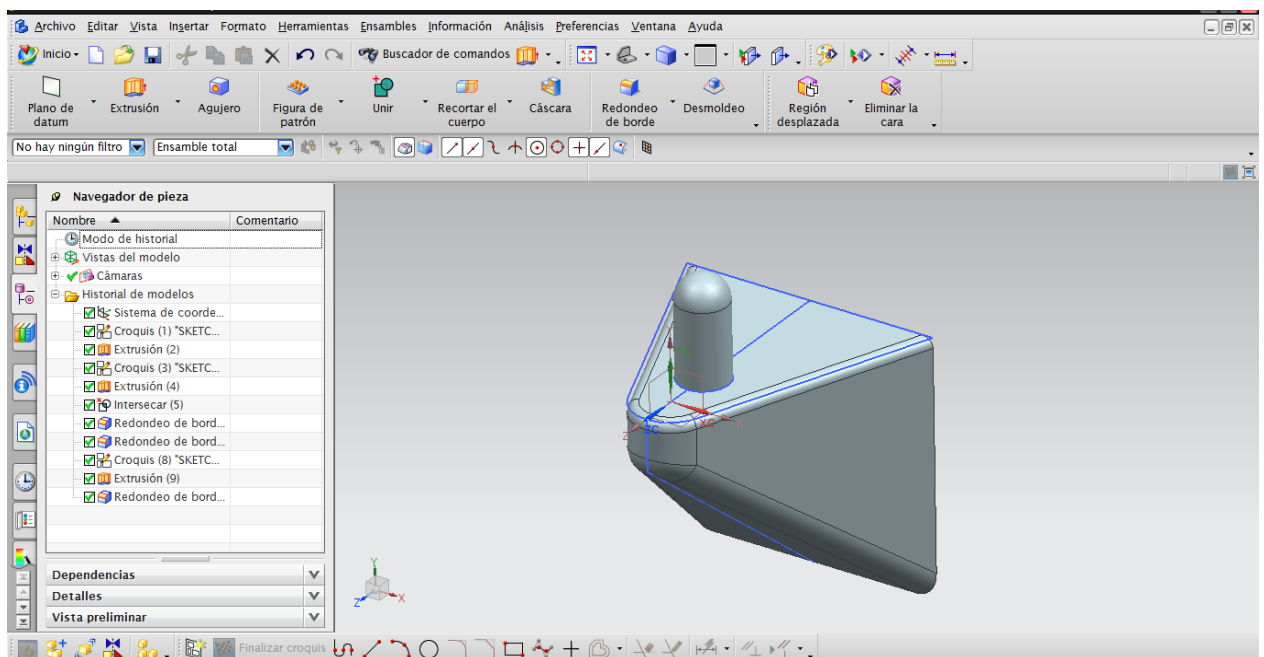


Figura A2-0-8 Pieza macho del acople

A2.2 Creación del modelo de la pieza hembra

El diseño de esta pieza comienza con un croquis igual al de la pieza macho (véase) y se realiza una extrusión como la de la pieza macho (véase Figura A2-8). El siguiente croquis añade una variación, ya que la parte estrecha es más profunda para alojar el tetón de la pieza macho, como se ve en la Figura A2-9]. En esta pieza también se realiza una extrusión de los dos croquis y se obtiene la forma final por la intersección de ambos cuerpos (véase Figura A2-10).

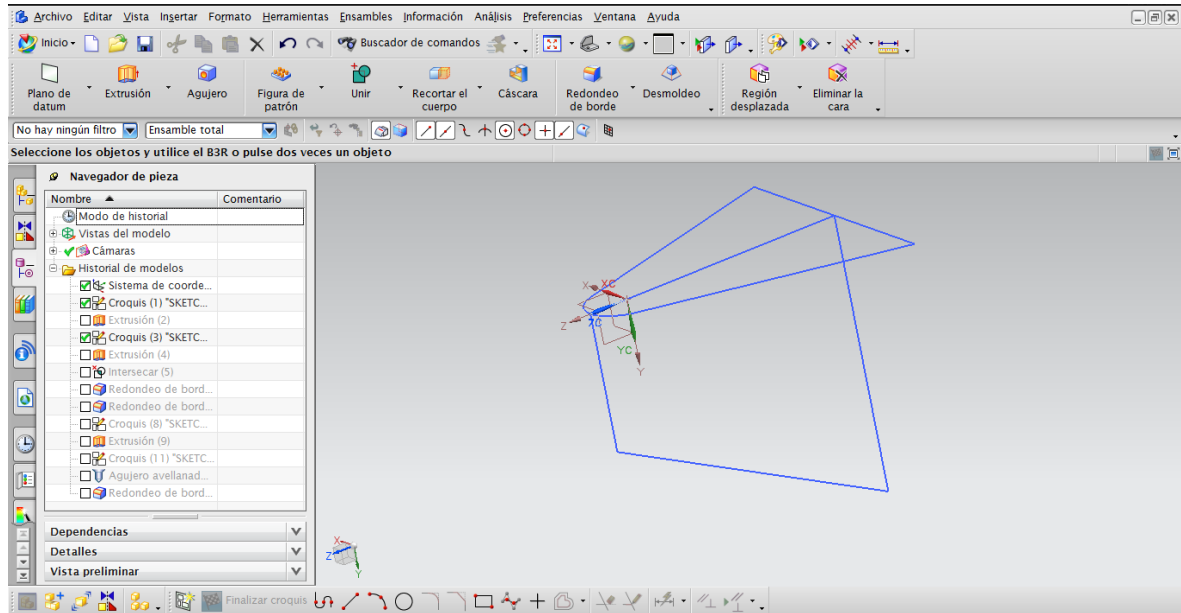


Figura A2-0-9 Croquis perpendicular de la pieza hembra

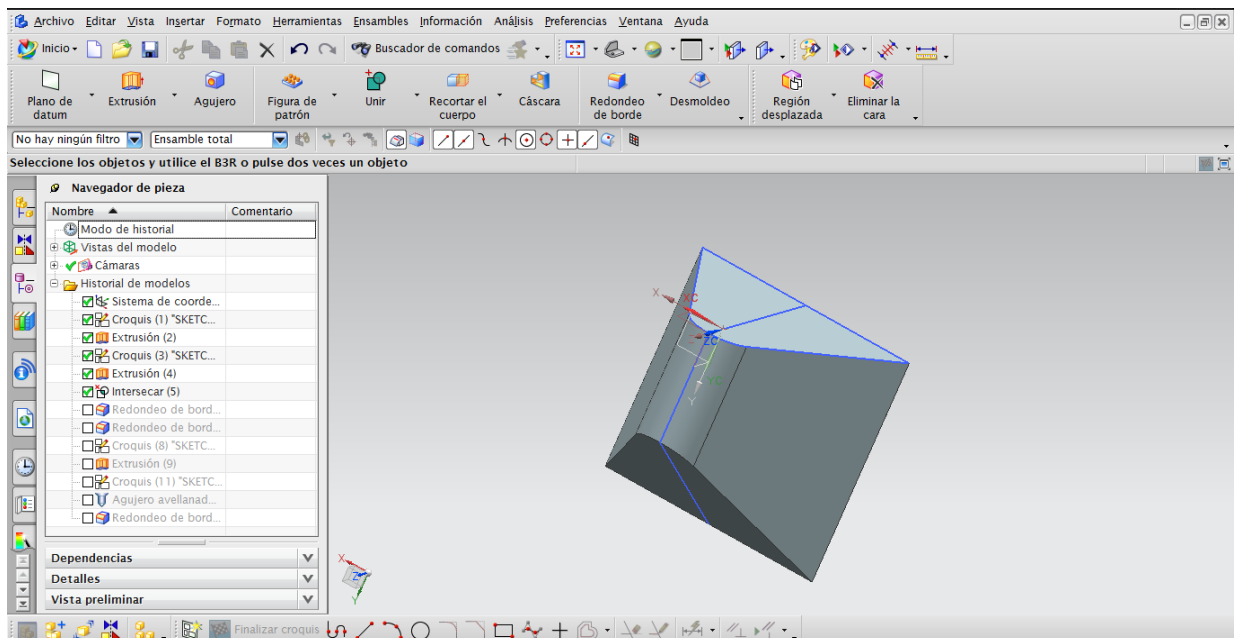


Figura A2-0-10 Intersección de extrusiones en pieza hembra

Se realiza un agujero con punta redondeada para alojar el tetón de la pieza macho. Con la opción “Agujero avellanado” (véase Figura A2-11) de la herramienta Agujero se ensancha el borde para facilitar la inserción del tetón durante el montaje. El aspecto final del agujero se refleja en la Figura A2-12.

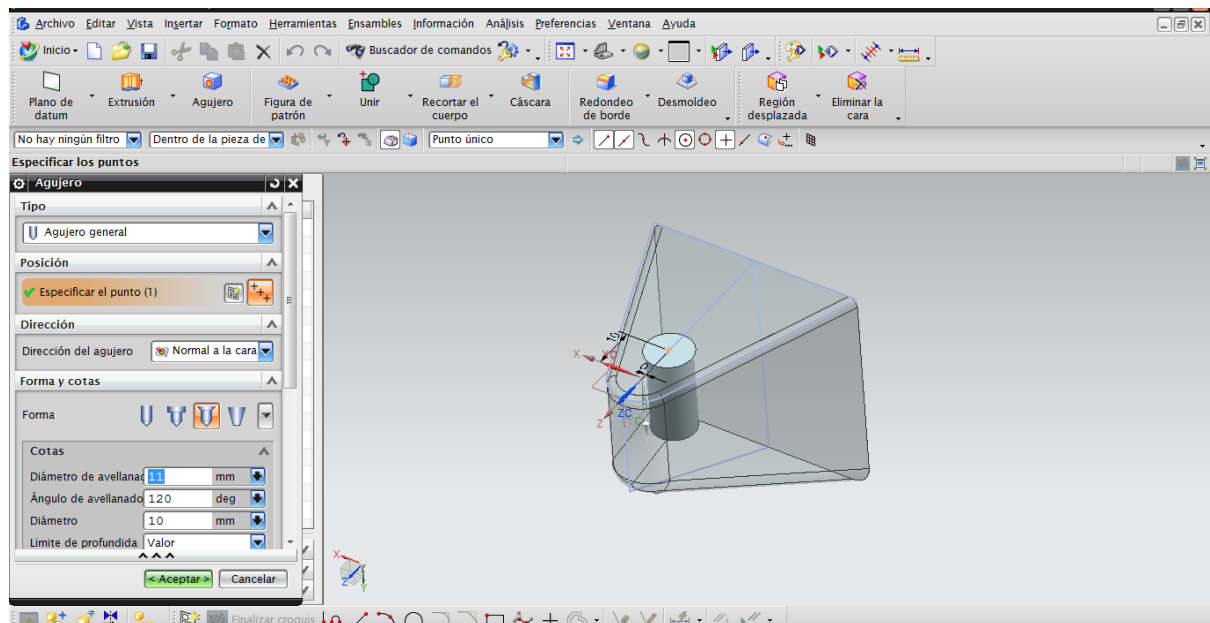


Figura A2-0-11 Realización de agujero avellanado

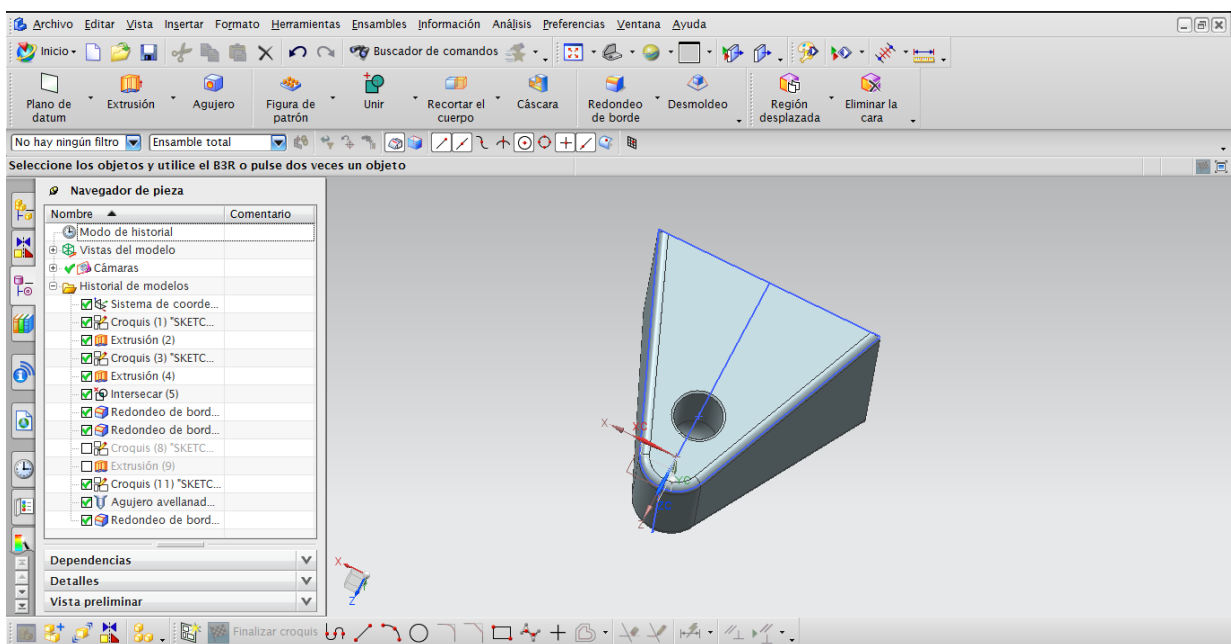


Figura A2-0-12 Pieza hembra con agujero

Para evitar daños en la soldadura de la columna se une una plancha de metal en la pieza hembra, el modelado de esta plancha se hace con un croquis y una extrusión, como aparece en la Figura A2-13 que muestra el aspecto final de la pieza hembra.

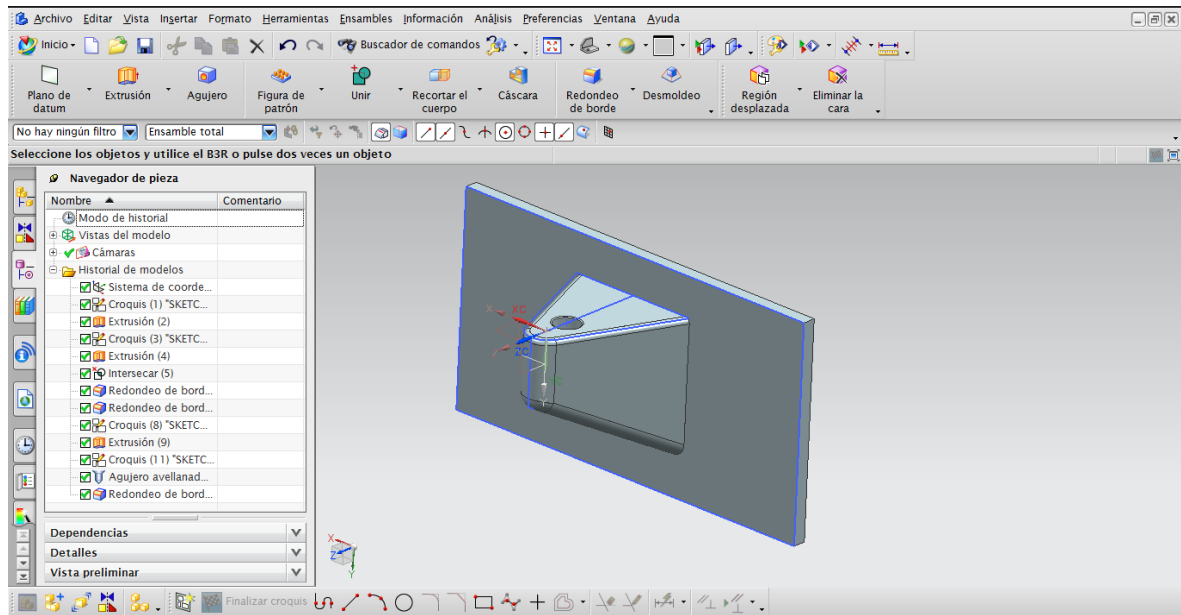


Figura A2-0-13 Modelo tridimensional de la pieza hembra

A2.3 Ensamble del conjunto

Mediante la opción “Ensamble” de NX se representa el funcionamiento de ambas piezas juntas y se verifica que las formas son las correctas (véase Figura A2-14).

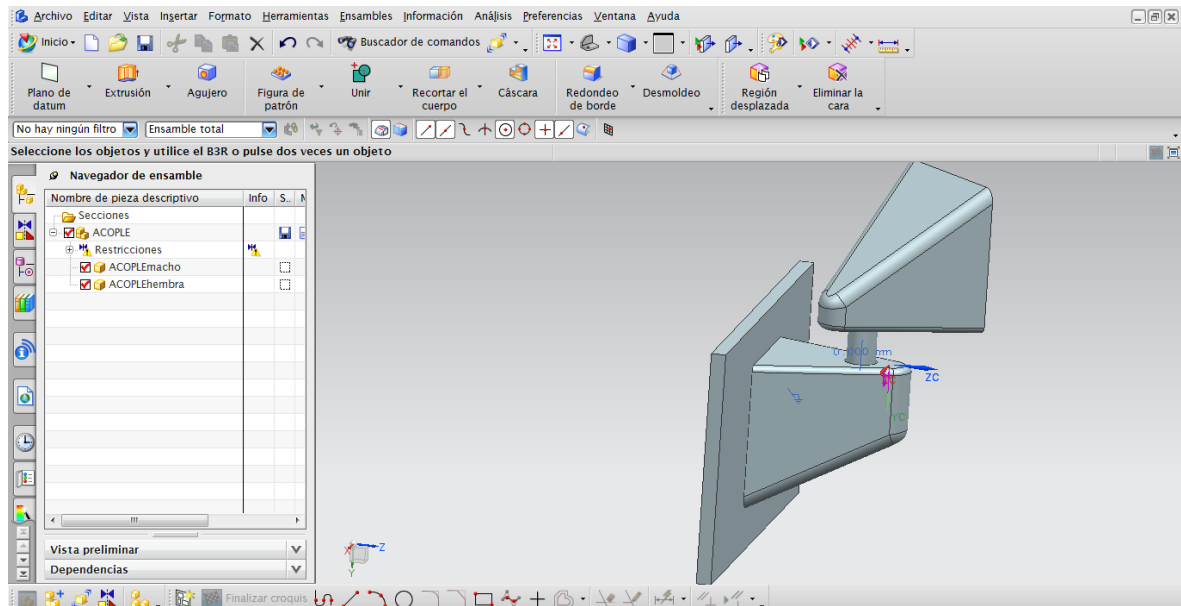


Figura A2-0-14 Montaje final del acople entre panel y columna

ANEXO III: REALIZACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DEL APOYO ARTICULADO CON NX8.5

Para permitir un movimiento libre de las columnas excepto en el eje vertical se diseña un conjunto formado por tres piezas, una de ellas empotrada en los cimientos y las otras dos unidas a las columnas por su base.

A3.1 Creación de la carcasa de soporte

La forma de esta pieza es semiesférica, por lo que se parte de un croquis que abarca un arco de un cuarto de circunferencia (véase Figura A3-1) para obtener la semiesfera por revolución de 360 grados respecto del eje vertical YC (véase Figura A3-2).

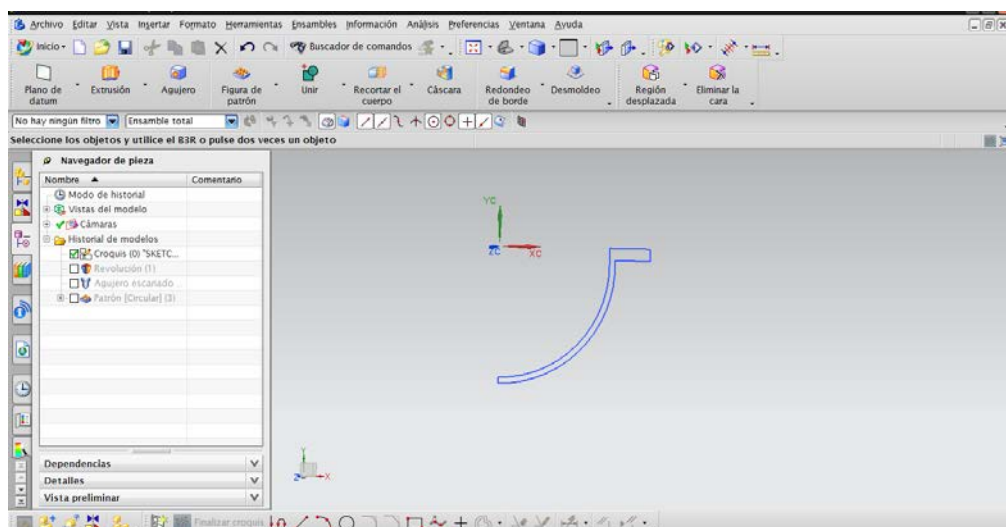


Figura A3-0-1 Croquis de cuarto de esfera para carcasa soporte

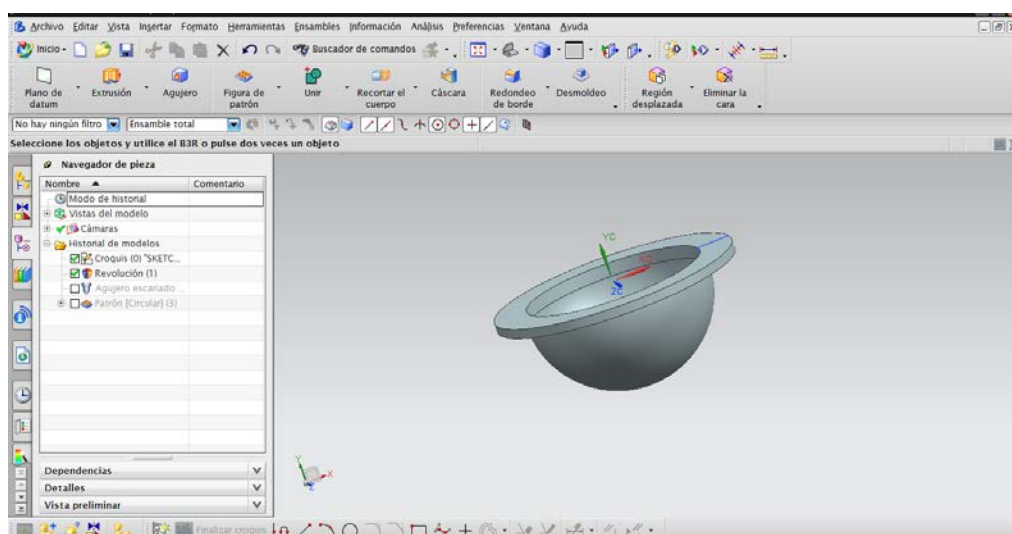


Figura A3-0-2 Revolución para forma de carcasa soporte

Para realizar los orificios de los tornillos en el borde de la carcasa se realiza uno inicial con la herramienta agujero y luego se aplica a esa figura un patrón circular con los parámetros reflejados en la Figura A3-3.

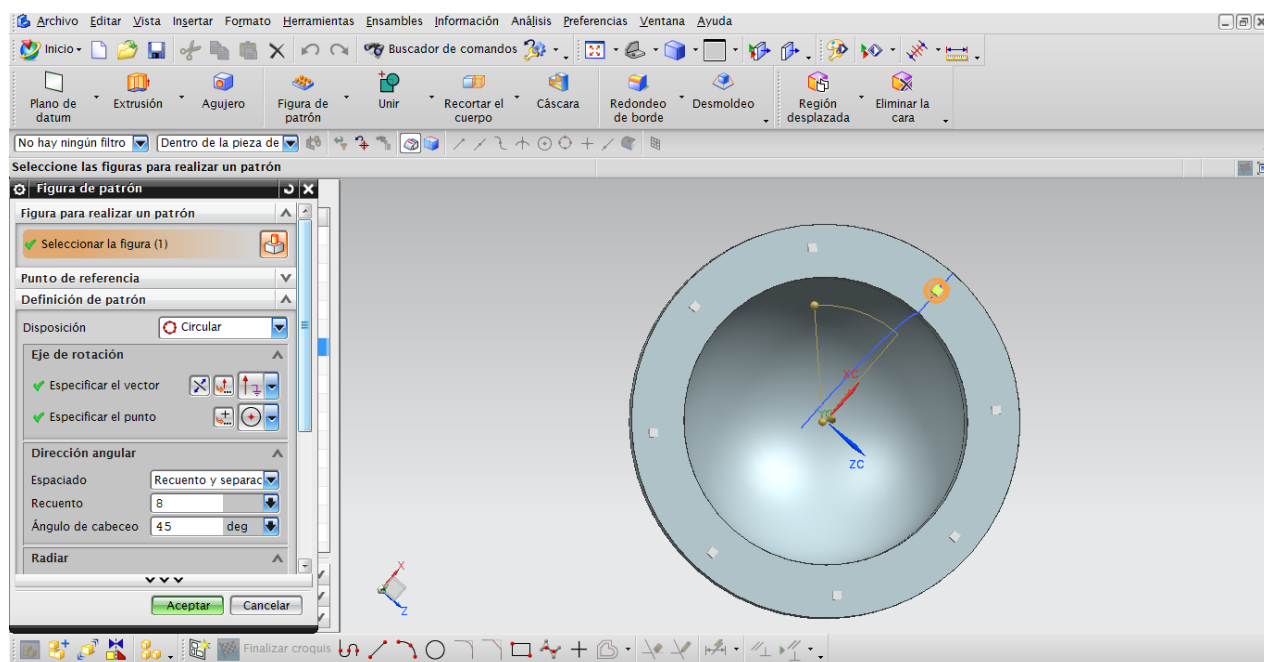


Figura A3-0-3 Parámetros del patrón circular en carcasa soporte

La Figura A3-4 muestra el modelo tridimensional final de la pieza que sirve de soporte al conjunto.

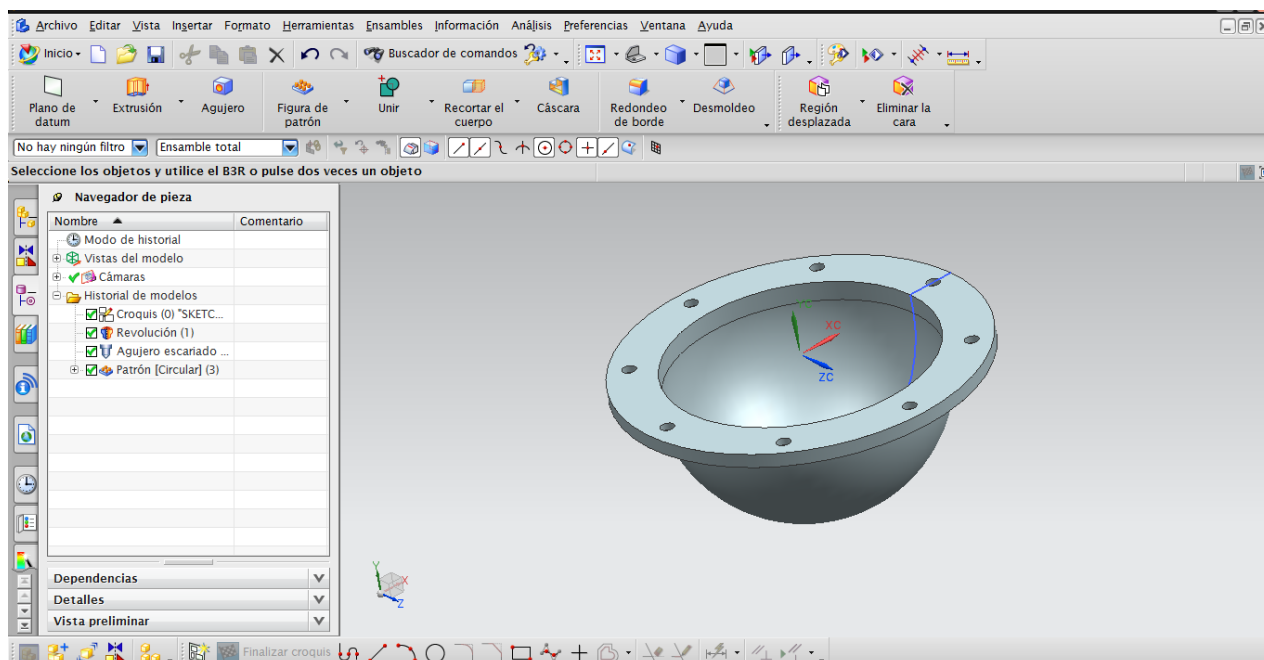


Figura A3-0-4 Modelo tridimensional de carcasa soporte

A3.2 Creación de la carcasa superior

De forma similar a la anterior, esta pieza tiene forma de semiesfera, por lo que se modela mediante un croquis que representa un arco de un octavo de esfera pero sin llegar a abarcar los 90° debido al orificio necesario para dar movilidad a la pieza interior, como se ve en la Figura A3-5. La revolución se hace en los 360 grados respecto del eje vertical YC, para dar lugar a una semiesfera con un orificio en su punta (véase Figura A3-6).

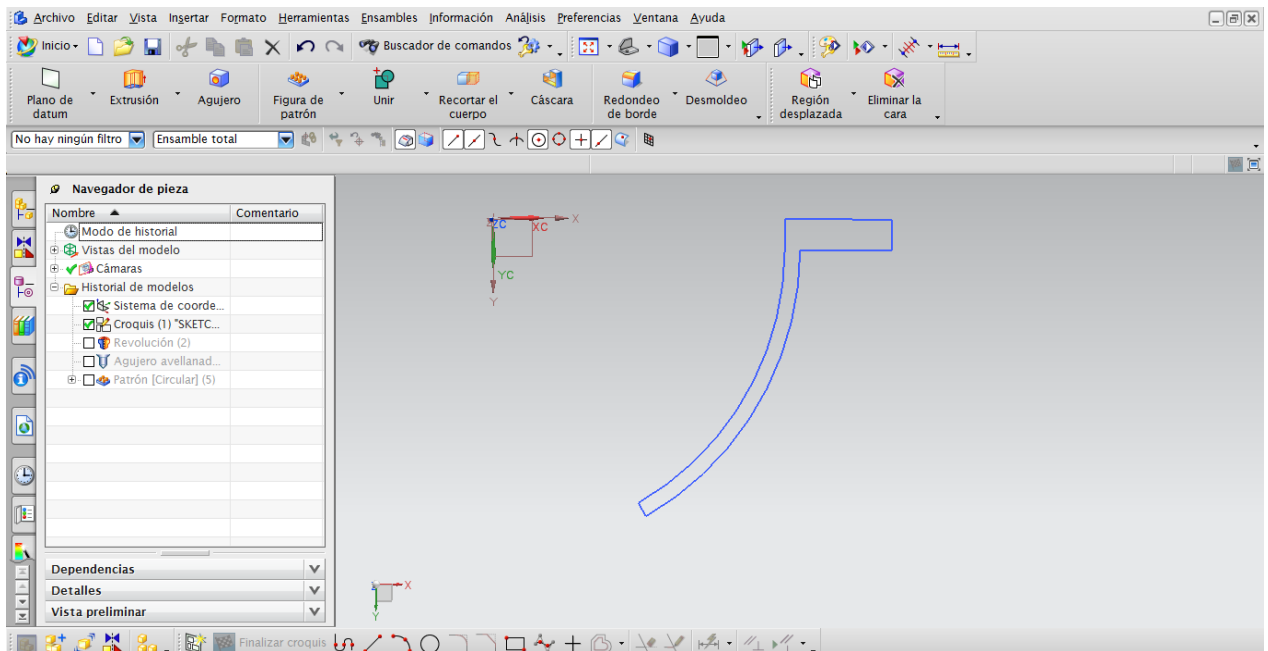


Figura A3-0-5 Croquis inicial de carcasa superior

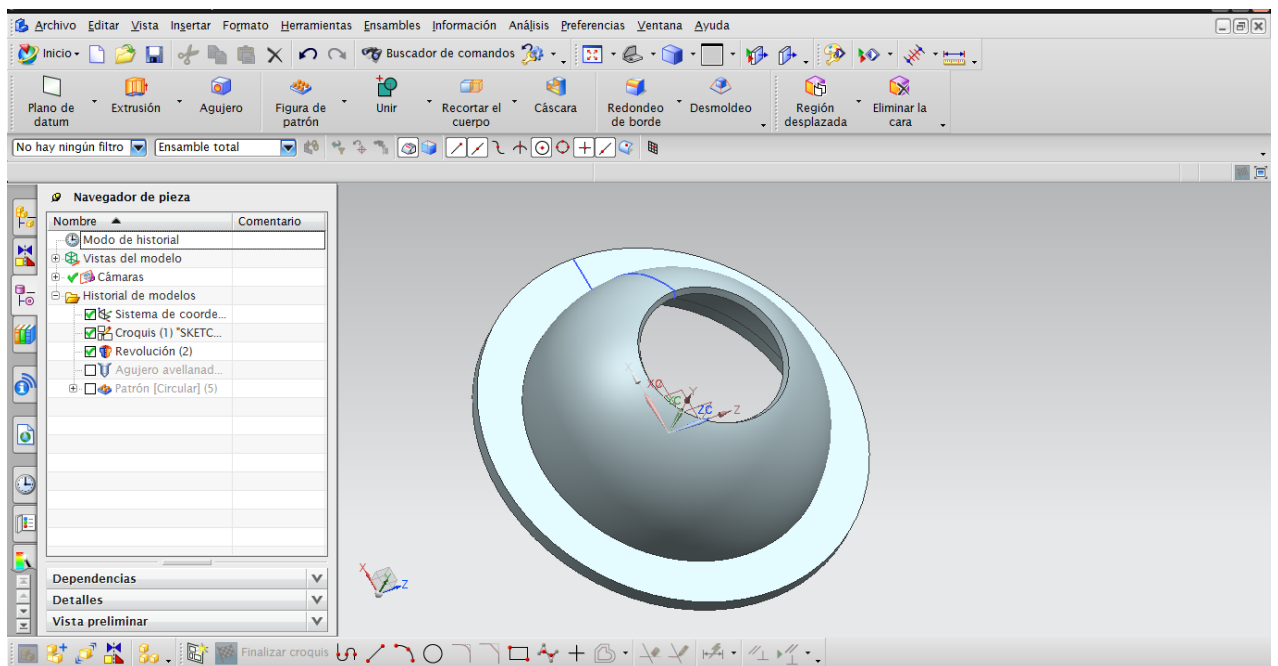


Figura A3-0-6 Revolución de carcasa superior

Igual que en la carcasa soporte, se realiza un patrón circular respecto del eje YC con una variación de 45 grados para modelar los orificios de los tornillos. La pieza queda modelada como muestra la Figura A3-7.

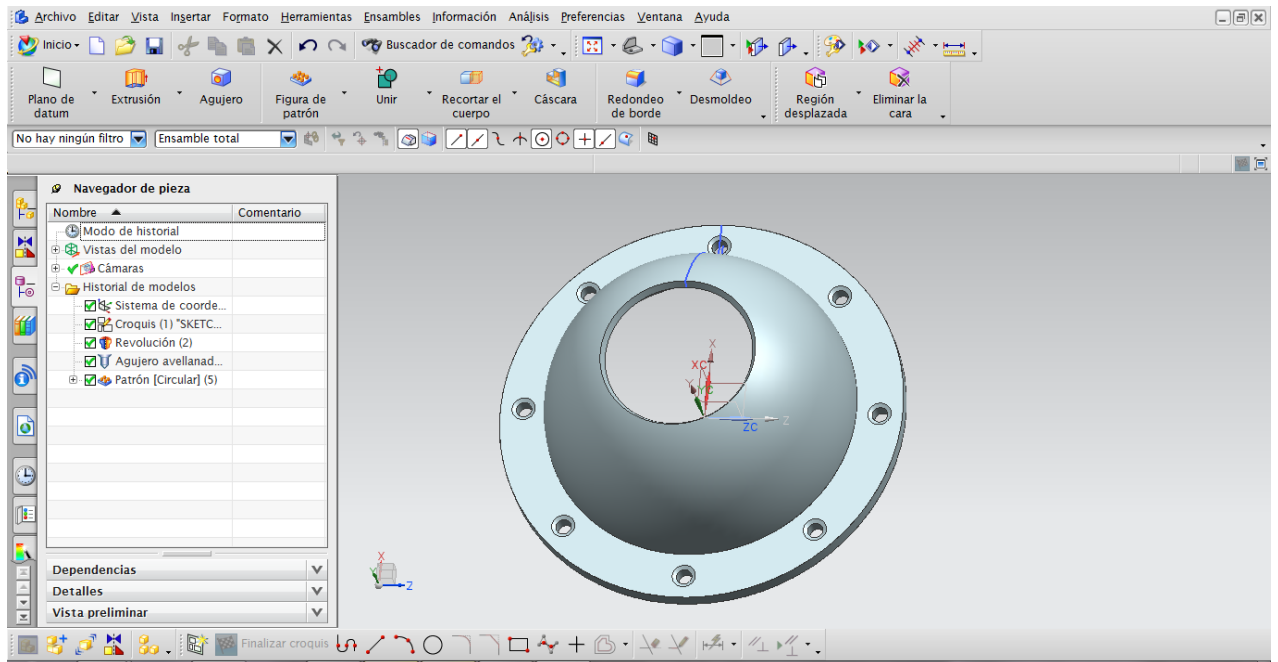


Figura A3-0-7 Modelo tridimensional de la carcasa superior

A3.3 Creación de la esfera

La última pieza del montaje consiste en una esfera con un apéndice cilíndrico donde va maquinada la rosca que se atornilla a la base de la columna. El modelado de esta pieza comienza por la revolución de 180 grados respecto al eje XC de una circunferencia, para dar lugar a una esfera (véase Figura A3-8).

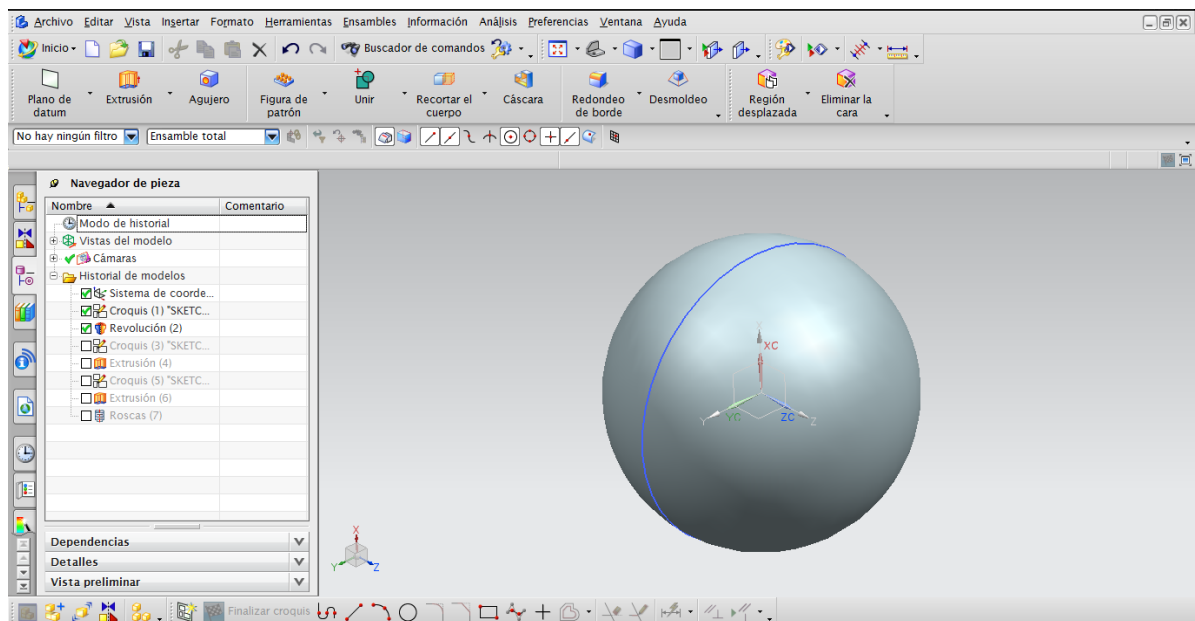


Figura A3-0-8 Esfera de revolución para pieza de apoyo

Para el modelado del apéndice con rosca se extruye una circunferencia desde la esfera y luego una más pequeña para el roscado. Las dos extrusiones se representan en la Figura A3-9.

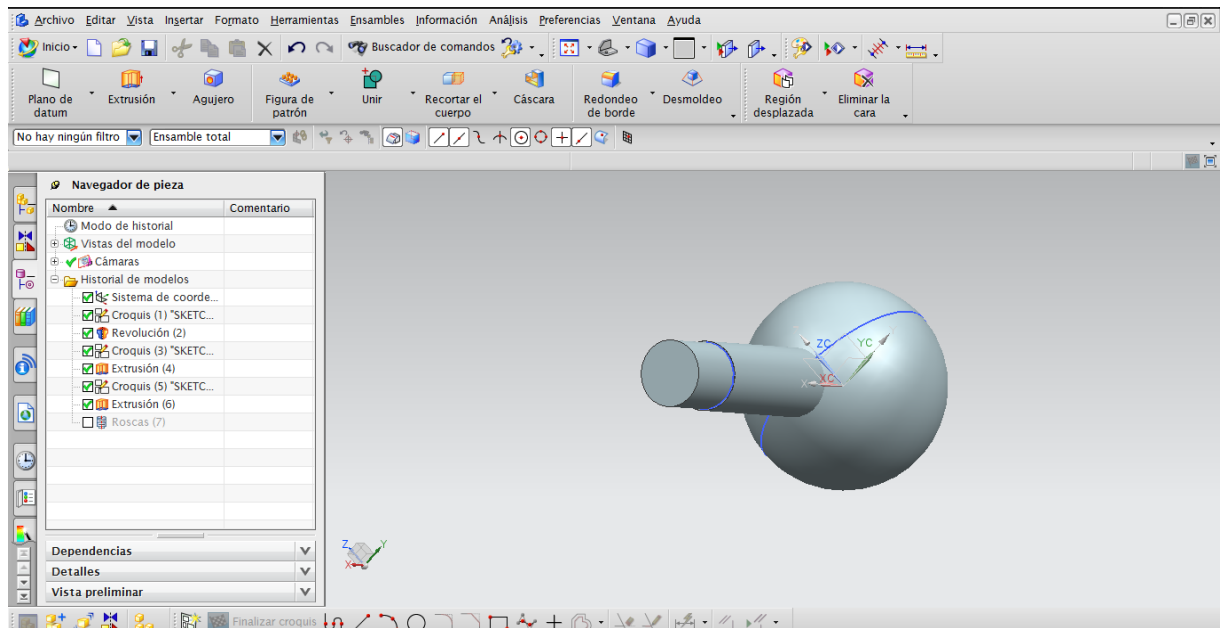


Figura A3-0-9 Extrusiones cilíndricas en esfera

Para realizar una rosca se entra en “Insertar” → “Figura de diseño” → “Rosca”. Los parámetros de la rosca vienen representados en la Figura A3-10.

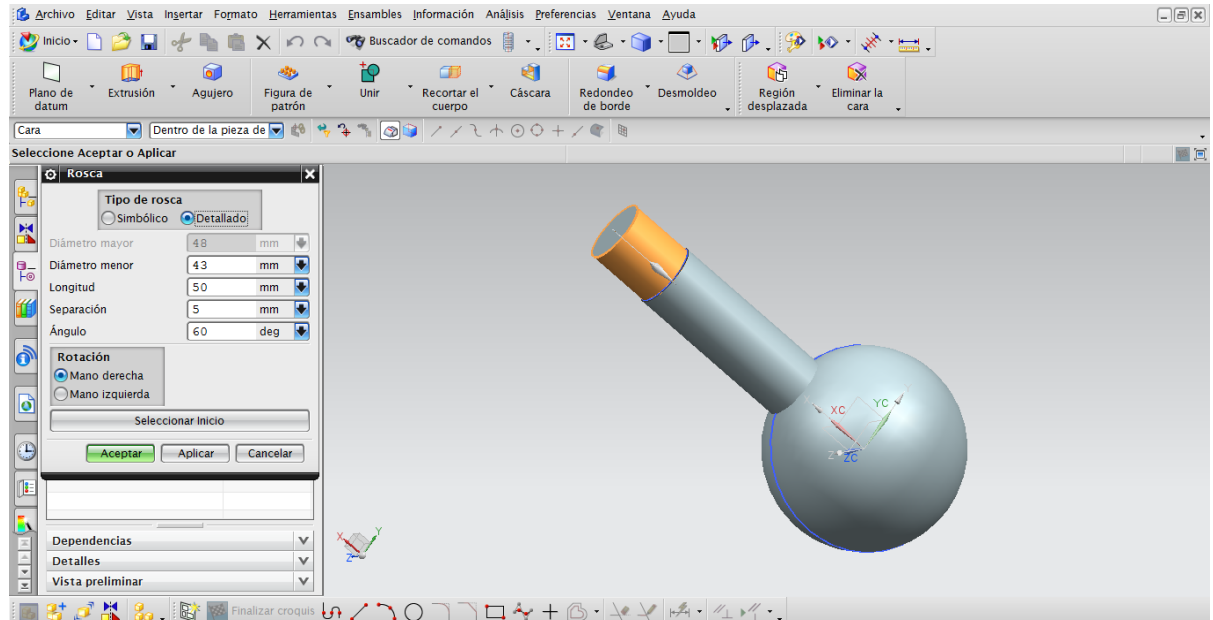


Figura A3-0-10 Parámetros de la rosca para esfera.

El aspecto final de la pieza se muestra en la Figura A3-11.

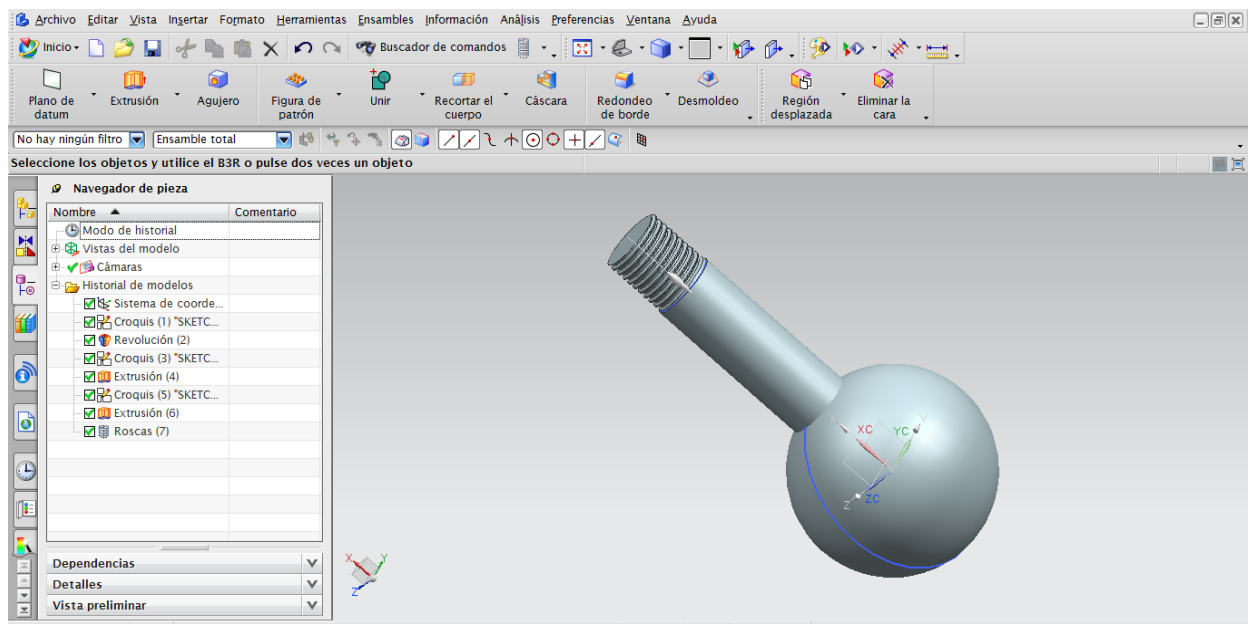


Figura A3-0-11 Modelado tridimensional de esfera

A3.4 Ensamblaje del conjunto del apoyo articulado

Mediante la función “Ensamblaje” de SIEMENS NX 8.5 se pueden importar las diferentes piezas y combinarlas para verificar el correcto funcionamiento del montaje. El apoyo articulado para la estructura queda representado por la Figura A3-12.

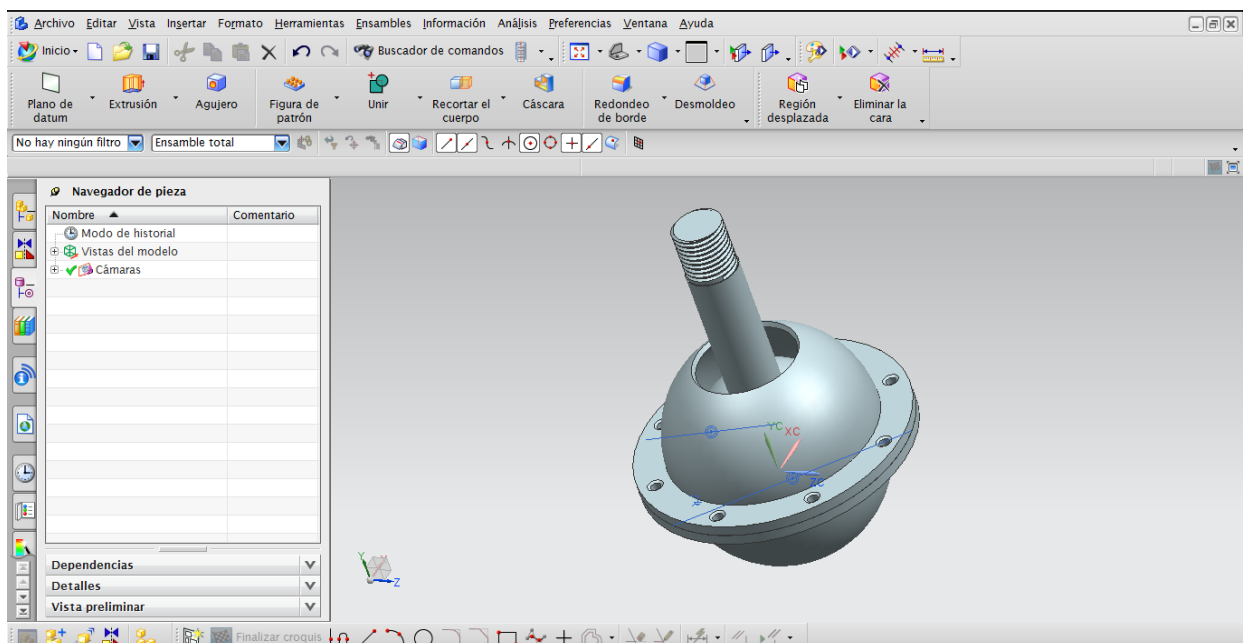


Figura A3-0-12 Montaje de apoyo libre