

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTANDARIZACIÓN DEL DISEÑO DE TORRES
AUTOSOPORTADAS CUADRADAS DE ALTURA VARIABLE DE 24
60m A SER USADAS EN EL TERRENO NACIONAL EN
TELECOMUNICACIONES”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS**

AUTOR:

Br. Mejía Van Dyck, Jean Pierrie

Br. Reátegui Briceño, Karol Margoth

ASESOR:

Ing. Galicia Guarniz William Conrad

TRUJILLO - PERÚ

2017

ACREDITACIONES

TÍTULO:

“ESTANDARIZACIÓN DEL DISEÑO DE TORRES AUTOSOPORTADAS
CUADRADAS DE ALTURA VARIABLE DE 24 a 60m A SER USADAS EN EL
TERRENO NACIONAL EN TELECOMUNICACIONES”

AUTORES:

Br. Mejía Van Dyck, Jean Pierrie

Br. Reátegui Briceño, Karol Margoth

APROBADO POR:

Ing. Jorge Luis Paredes Estacio

PRESIDENTE

N° CIP 90402

Ing. Victor Manuel Morán Guerrero

SECRETARIO

N° CIP 50648

Ing. Rolando Ochoa Zevallos

VOCAL

N° CIP 9133

Ing. William Conrad Galicia Guarniz

ASESOR

N° CIP: 96091

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos y Reglamento de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado “ESTANDARIZACIÓN DEL DISEÑO DE TORRES AUTOSOPORTADAS CUADRADAS DE ALTURA VARIABLE DE 24 a 60m A SER USADAS EN EL TERRENO NACIONAL EN TELECOMUNICACIONES”, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen, excusándonos de antemano de los posibles errores involuntarios cometidos en el desarrollo del mismo.

Atentamente,

Br. Mejía van Dyck Jean Pierrie
Br. Reátegui Briceño Karol Margoth

Trujillo, 21 de Setiembre del 2017.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, ya que me dio la bendición de tener la familia que me ha guiado a esta etapa de mi vida profesional, mis padres Judy, Jorge y Rosina, a mi hermano Jorge sin su apoyo incondicional en momentos claves no hubiera logrado culminar esta etapa, todo lo que soy y todo lo que tengo se los debo a Uds.

A mis Abuelos Enrique y Raquel; a mis tíos Freddy, Víctor y Juana por los consejos, enseñanzas y cariño brindado a la distancia, no bastará la vida para poder retribuir todo lo que me han otorgado y enseñando.

A mi novia Kristel quien me apoyo y me alentó a continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

JEAN PIERRIE MEJÍA VAN DYCK

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa importante a mi formación profesional. A mis padres por su orientación, dedicación, los valores inculcados y su apoyo incondicional en estos cinco años transcurridos. A mis hermanas por haberme brindado cada día dosis de amor y buen humor. A mi tía Livis por cada consejo dado durante todo este periodo.

KAROL MARGOTH REÁTEGUI BRICEÑO

AGRADECIMIENTO

Al término de esta etapa profesional agradezco a Dios por darme su bendición y no dejarme solo y socorrerme en momentos donde lo necesitaba, a mis padres por el sacrificio y la paciencia que implica haberme dado un buen porvenir. A mi hermano por los consejos, a mis abuelos, tíos, amigos y compañeros de clases; personas especiales en mi vida, que me brindaron su apoyo día tras día.

JEAN PIERRIE MEJÍA VAN DYCK

Agradezco a Dios por acompañarme, guiar mi camino y darme salud. A mis padres por su sacrificio diario para brindarme educación y un buen futuro. A mis hermanas por estar para ayudarme ante las clásicas urgencias universitarias y brindarme su apoyo día tras día.

KAROL MARGOTH REÁTEGUI BRICEÑO

RESUMEN

“ESTANDARIZACIÓN DEL DISEÑO DE TORRES AUTOSOPORTADAS CUADRADAS DE ALTURA VARIABLE DE 24 a 60m A SER USADAS EN EL TERRENO NACIONAL EN TELECOMUNICACIONES”

Nuestro país se encuentra en vías de crecimiento económico y, este crecimiento se tiene que traducir en expansión tecnológica; por lo tanto, tener información en tiempo real y de la forma más rápida y eficiente posible es de vital importancia.

El país se ve en la obligación de montar redes de comunicación, para lo cual se debe atender la demanda de instalación de torres de telecomunicaciones, las cuales deben ser instaladas dentro y fuera de la ciudad y siendo estas estructuras de gran altura, deben de tener imperiosamente un estudio riguroso en cuanto a la estructura para que ésta no falle y cause alguna fatalidad a la población

Por ello la presente tesis está enfocada en el diseño de Torres de Telecomunicaciones de diferentes alturas comerciales y así poder tener una tendencia para el diseño de torres de cualquier altura y poder homogeneizar los diseños.

El diseño de las torres se realice siguiendo los parámetros de la norma TIA/EIA 222F comparando los desplazamientos laterales con los mínimos requeridos por la norma y establecer la mejor propuesta técnico-económica.

Además de realizar el diseño de las torres, se realizaron los metrados respectivos para el dimensionamiento de los perfiles que se van a utilizar además de estimar el costo de cada estructura para serla la más económica posible.

ABSTRACT

"STANDARDIZATION OF THE DESIGN OF SQUARED SELF-SUPPORTED TOWERS OF VARIABLE HEIGHT FROM 24 TO 60M TO BE USED IN THE NATIONAL TERRAIN IN TELECOMMUNICATIONS"

Our country is in the process of economic growth, and this growth must be translated into technological expansion; therefore, having real-time information, the fastest and most efficient way possible is of vital importance.

The country forced to set up communication networks, which it is necessary to meet the demand for the installation of telecommunications towers; this must be installed inside and outside the city.

In addition, because these structures being of high height, they must have a rigorous studies to the structure so that it doesn't fail and cause some accident to the population.

For those reason the present thesis is focused on the design of Telecommunications Towers of different commercial heights and thus to have a tendency for the design of towers of any height and to be able to homogenize the designs.

The design of the towers carried out following the parameters of the TIA / EIA 222F standard comparing the lateral configurations with the minimum required by the standard and establishing the best technical-economic proposal.

ÍNDICE

ACREDITACIONES	i
PRESENTACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Justificación del problema	2
1.4. Limitaciones.....	3
1.5. Objetivos de estudio.....	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Base teórica.....	7
2.2.1. Torres de Telecomunicaciones – Celosía Torres Autosoportadas.....	7
2.2.1.1. Materiales.....	8
2.2.1.2. Tipo de perfiles a utilizar	13
2.2.1.3. Descripción de la silueta	14
2.2.1.4. Soporte para antenas	15
2.2.1.5. Galvanizado de estructuras de acero.....	17
2.2.2. Tipología de torres de telecomunicaciones	18
2.2.2.1. Basado en su uso y colocación	19
2.2.2.2. Basado en su conformación estructural	19
2.2.3. Cimentación de torres de telecomunicaciones	25
2.2.3.1. Torres Arriostradas	25
2.2.3.2. Torres Ventadas	27
2.2.3.3. Torres Monopolo	28
2.2.3.4. Torres Autosoportada	29
2.2.4. Reforzamiento de edificaciones para construcción de torres de telecomunicaciones Rooftop	30
2.2.5. Conceptualización estructural de torres autosoportadas.....	32

2.2.5.1.	Proceso Constructivo de una torre autoportada.....	33
2.2.5.2.	Determinación de altura – ancho de base para torres autoportadas	37
2.2.6.	Antenas presentes en Torres Autoportadas.....	37
2.2.6.1.	Antenas de radio frecuencia.....	37
2.2.6.2.	Antena microondas	38
2.2.7.	Solicitud mínima de los operadores para antenas RF y MW.....	39
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS		40
3.1.	Formulación de hipótesis	40
3.2.	Operacionalización de variables	40
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS		41
4.1.	Tipo de diseño de investigación.....	41
4.2.	Material.....	41
4.2.1.	Unidad de estudio	41
4.2.2.	Población	41
4.2.3.	Muestra	42
4.3.	Métodos	42
4.3.1.	Técnicas de recolección de datos.....	42
CAPÍTULO 5. DESARROLLO		42
5.1.	Procedimiento para el Diseño de la TAC.....	42
5.2.	Diagrama de flujo para el diseño de la TAC.....	43
5.3.	Criterios de Dimensionamiento de Torres Autoportadas	43
5.3.1.	Relación ancho – altura de la TAC.....	43
5.3.2.	Tramos de la Torre Autoportada Cuadrada.....	46
5.4.	Dimensionamiento de Torres Autoportadas	46
5.5.	Cálculo de cargas actuantes en la TAC.....	47
5.5.1.	Cargas Permanentes.....	48
5.5.1.1.	Peso teórico de torres autoportadas cuadradas	48
5.5.2.	Cargas Eventuales.....	49
5.6.	Cálculo de perfil base de la torre.....	50
5.7.	Diseño Estructural de TAC matriz y descripción de geometría.....	51
5.8.	Desplazamientos obtenidos en la torre matriz.....	60
5.9.	Cálculo de peso real de la torre matriz.....	63
5.10.	Perfiles presentes en Torre Matriz – Autoportada Cuadrada 60.00m.....	69
5.11.	Desplazamientos en los puntos más críticos de la torre	70
5.12.	Perfiles presentes en Torres Comerciales de 48m – 24m.....	73
CAPITULO 6. RESULTADOS.....		79
6.1.	Parámetros de diseño geométrico de la estandarización de Torres	79

6.2.	Determinación de Peso de TAC's de cualquier altura comercial.....	79
6.3.	Determinación de Desplazamientos de TAC's de cualquier altura comercial..	83
6.4.	Determinación del Costo Aproximado de Fabricación de TAC de altura comercial	80
CAPITULO 7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
CAPITULO 8.	CONCLUSIONES	83
CAPITULO 9.	RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	89
A.	PLANOS ESTRUCTURALES DE TORRES AUTOSOPORTADAS CUADRADAS DE 60 m, 54 m ,48 m, 42 m, 36 m, 30 m y 24 m.	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Torres basadas en Uso o Colocación.....	19
Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente	40
Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente	41
Tabla 4. Relación de Ancho de Base con Peso de Torre. Ing. Carlos Lopez.	44
Tabla 5. Relación de Ancho de Base con Deflexión de Torre. Ing. Carlos Lopez.....	44
Tabla 6. Cálculo de Área de Exposición al Viento. Fuente propia.	47
Tabla 7. Pesos Teóricos de Torres en Toneladas. Made Torres.	48
Tabla 8. Metrado de cargas de TAC.....	50
Tabla 9. Cálculo de Perfil Inicial de Torre	51
Tabla 10. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC Matriz. Fuente propia.	62
Tabla 11. Cálculo de pesos por Nivel de TAC – acumulado. Fuente propia.	67
Tabla 12. Perfiles en Torre Matriz – Autosoportada Cuadrada Altura 60.00m. Fuente propia.	69
Tabla 13. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 54.00m. Fuente propia.....	70
Tabla 14. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 48.00m. Fuente propia.....	70
Tabla 15. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 42.00m. Fuente propia.....	71
Tabla 16. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 36.00m. Fuente propia.....	71
Tabla 17. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 30.00m. Fuente propia.....	72
Tabla 18. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 24.00m. Fuente propia.....	72
Tabla 19. Perfil propuesto para TAC 54.00m. Fuente propia.	73
Tabla 20. Perfil propuesto para TAC 48.00m. Fuente propia.	74
Tabla 21. Perfil propuesto para TAC 42.00m. Fuente propia.	75
Tabla 22. Perfil propuesto para TAC 36.00m. Fuente propia.	76
Tabla 23. Perfil propuesto para TAC 30.00m. Fuente propia.	77
Tabla 24. Perfil propuesto para TAC 24.00m. Fuente propia.	78
Tabla 25. Resumen de Tablas para desplazamiento de Torres. Fuente propia.....	79
Tabla 26. Relación de Altura vs Peso para TAC 60.00m. Fuente propia.....	80
Tabla 27. Relación de Altura vs Peso para TAC 54.00m. Fuente propia.....	80
Tabla 28. Relación de Altura vs Peso para TAC 48.00m. Fuente propia.....	81
Tabla 29. Relación de Altura vs Peso para TAC 42.00m. Fuente propia.....	81
Tabla 30. Relación de Altura vs Peso para TAC 36.00m. Fuente propia.....	82
Tabla 31. Relación de Altura vs Peso para TAC 30.00m. Fuente propia.....	82

Tabla 32. Relación de Altura vs Peso para TAC 24.00m. Fuente propia.....	82
Tabla 33. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 60.00m. Fuente propia.	83
Tabla 34. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 54.00m. Fuente propia.	84
Tabla 35. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 48.00m. Fuente propia.	84
Tabla 36. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 42.00m. Fuente propia.	85
Tabla 37. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 36.00m. Fuente propia.	85
Tabla 38. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 30.00m. Fuente propia.	79
Tabla 39. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 24.00m. Fuente propia.	79
Tabla 40. Costo de Fabricación para TAC entre 60 – 24 m. Fuente propia.....	80

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relación de Ancho de Base vs Peso-Deflexión de Torre. Ing. Carlos Lopez. ...	45
Gráfico 2. Relación de Altura vs Peso para el cálculo de Peso Teórico. Ing. Carlos Lopez.	49
Gráfico 3. Relación de Altura vs Peso para TAC 60.00m. Fuente propia.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva idealizada esfuerzo-deformación del acero. Google.	12
Figura 2. Elementos que conforman la torre autosoportada. Fuente propia.....	15
Figura 3. Vista en 3D de elementos que conforman la torre autosoportada. Fuente propia.	15
Figura 4. Soportes de antenas estandarizados para torres de celosía estándar / reforzada, Torres de telecomunicaciones.	16
Figura 5. Soporte de antenas Minilink o Soporte a cara. Fuente propia.....	16
Figura 6. Soportes de antenas Crosspolar o Soporte a Montante. Fuente propia.	17
Figura 7. Esquema de Objetivo principal del proceso de Galvanizado. Fuente propia.....	18
Figura 8. Tipos de Torres basadas en su conformación estructural. Proyecto Confutura. .	19
Figura 9. Torre Arriostrada con cables de vientos – Greenfield. Fuente propia.	20
Figura 10. Torre Arriostrada con tubo de acero - Rooftop. Fuente propia.....	21
Figura 11. Torre Monopolo con mimetizado tipo radomo - Greenfield. Fuente propia.....	22
Figura 12. Torre Monopolo mimetizado o camuflado tipo palmera – Greenfield. Fuente propia.....	22
Figura 13. Torre Monopolo – no presenta mimetizado. Fuente propia.	23
Figura 14. Torre Autosoportada – Sección Triangular - Greenfield. Fuente propia.	24
Figura 15. Torre Autosoportada – Sección Cuadrada – Greenfield. Fuente propia.	24
Figura 16. Plano de Torre Arriostrada – Elevación cimentación. Fuente propia.	25
Figura 17. Detalle Estructural de Cimentación Torre Arriostrada. Fuente propia.	26
Figura 18. Construcción de Pedestal para Torre Arriostrada. Fuente propia.	26
Figura 19. Detalle de cimentación de Torre Ventada - Elevación. Fuente propia.	27
Figura 20. Construcción de Cimentación para Torre Ventada. Fuente propia.	28
Figura 21. . Detalle de cimentación de Torre Monopolo – Elevación. Fuente propia.	28
Figura 22. Construcción de Cimentación de Torre Monopolo. Fuente propia.....	29
Figura 23. Plano Planta de Cimentación de Torre Autosoportada. Fuente propia.	29
Figura 24. Construcción de Cimentación de Torre Autosoportada. Fuente propia.	30
Figura 25. Instalación de Vigas H para repartir cargas de Estación. Fuente propia.....	31
Figura 26. Vigas H para repartir cargas de Torre Monopolo. Fuente propia.	31
Figura 27. Plano Planta Arquitectura - Vigas H para repartir cargas de Torre Monopolo. Fuente propia.	32
Figura 28. Conceptualización Estructural de Torre Autosoportada. Fuente propia.	33

Figura 29. Izaje de Montante de Cuerpo de Torre Autosoportada. Fuente propia.	34
Figura 30. Izaje de Cuerpos de Torre Autosoportada. Fuente propia.....	35
Figura 31. Roldana Metálica Instalada en parte superior de torre autosoportada. Fuente propia.....	36
Figura 32. Soporte a cara Instalado en Torre Autosoportada. Fuente propia.....	36
Figura 33. Soporte a montante Instalado en Torre Autosoportada para Antena Microondas (MW) . Fuente propia.....	36
Figura 34. Esquema enlace de torres y altura requerida. Google.....	37
Figura 35. Data Sheet – Descripción de Antena Radiofrecuencia Huawei 12 puertos. Google.....	38
Figura 36. Antenas microondas presentes en torre autosoportada. Fuente propia.....	38
Figura 37. Detalle de Antenas RF y MW presentes en Torre Autosoportada. Fuente propia.....	39
Figura 38. Diagrama de flujo propuesto para el diseño de Torres Autosoportadas cuadradas. – Fuente propia.....	43
Figura 39. Esquema final de TAC con geometría planteada y antenas RF y MW. Fuente Propia.....	59
Figura 40. Esquema en planta de TAC. Fuente Propia.....	60
Figura 41. Desplazamiento Proyectado de Torre matriz en todas las combinaciones. Fuente Propia.....	60
Figura 42. Desplazamiento Proyectado de Torre matriz en Combinació más crítica, velocidad de viento a 0°. Fuente propia.....	61

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Nuestro país se encuentra en vías de crecimiento económico y, este crecimiento se tiene que traducir en expansión tecnológica; por lo tanto, tener información en tiempo real y de la forma más rápida y eficiente posible es de vital importancia.

El país se ve en la obligación de montar redes de comunicación, para lo cual se debe atender la demanda de instalación de torres de telecomunicaciones, las cuales deben ser instaladas dentro y fuera de la ciudad y siendo estas estructuras de gran altura, deben de tener imperiosamente un estudio riguroso en cuanto a la estructura para que ésta no falle y cause alguna fatalidad a la población.

Según los estudios realizados por Osiptel hasta el año 2016 nos encontrábamos con un déficit de 22 000 antenas de telefonía a nivel nacional; para hacer frente a esta demanda se necesitan más profesionales especializados en esta rama de la ingeniería estructural.

Teniendo todos estos puntos previos como son la creciente demanda para cubrir el déficit de instalación de antenas de telecomunicaciones se tiene que realizar estudios para el diseño y análisis estructural, para ello se tienen herramientas como son las normas, manuales y softwares especializados en estructuras.

Actualmente en nuestro país no contamos con normas que nos brinden información para este tipo de estructuras, por ello recurrimos a normas extranjeras que nos facilitan parámetros para el diseño de estas estructuras.

Sin embargo, estas estructuras compuestas de acero tienden a ser muy costosas por lo que se tiene que realizar un cálculo minucioso de las cargas que esta estructura va a soportar así ésta tendrá el menor costo posible y pueda ser factible instalarla en la comunidad que tiene el requerimiento.

Además de lo antes señalado hemos notado que no se tienen los criterios iniciales para este tipo de sistema estructural, con esto nos referíamos a selección del ancho óptimo de la base, selección de perfiles iniciales con los cuales se debe partir para iniciar el diseño de la estructura; pues esto muchas veces se selecciona en base a la experiencia del ingeniero especialista; así como no se tienen parámetros para poder estimar su peso aproximado y por tanto su costo aproximado, que es lo que delimita el costo del proyecto y por ende su factibilidad.

Además de no contar con una guía que describa los criterios para aquellos profesionales que estén iniciando con el diseño de este tipo de estructuras, pues tendrían que realizar múltiples diseños hasta llegar a un prototipo que les sea económico y que cumpla con los parámetros exigidos en las normas existentes. Por ello se requiere estandarizar el proceso de diseño para esta tipología estructural.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles serían las características de la estandarización de torres autoportadas cuadradas entre 60 y 24 metros con área de exposición al viento solicitada?

1.3. Justificación del problema

Este proyecto se justifica académicamente porque permite aplicar procedimientos y metodologías para la estandarización del diseño de torres para elegir la mejor solución técnico-económica posible.

Se justifica técnicamente porque se tomarán criterios de señalados en la norma TIA/EIA 222F para el diseño de torres, de las cuales se tomarán parámetros de referencia para el análisis y estandarización definitiva. (desplazamientos laterales y ratios de esfuerzo por cada elemento), de esta forma se determinará la mejor opción técnico-económica.

También se justifica socialmente porque la construcción de celosías de telecomunicaciones beneficia a la comunicación entre la población y facilitará

el acceso a redes de comunicación e internet, así como tener información en tiempo real.

1.4. Limitaciones

La ubicación de la zona de estudio ya que el diseño que se va a realizar es de la infraestructura más no de la sub-estructura (cimentación de torre).

1.5. Objetivos de estudio

1.5.1. Objetivo general:

- Establecer las características de la estandarización de torres autosoportadas cuadradas entre 60 y 24 metros con área de exposición el viento solicitada.

1.5.2. Objetivos específicos:

- Definir los parámetros geométricos de la base de acuerdo a una torre matriz.
- Plantear el procedimiento de elección de perfiles adecuados.
- Comprobar que el diseño preliminar para dar pase al diseño definitivo de la torre.
- Estandarizar el diseño definitivo de torres autosoportadas cuadradas de alturas comerciales de entre 60 a 24 metros.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedente Nacional

ANÁLISIS Y DISEÑO DE TORRE AUTOSOPORTADA CUADRADA EXISTENTE DE 50.40m + Mástil de 6.00m

AUTOR: ING. ROY COARITA

OBJETIVO

El objetivo de la presente memoria de cálculo describe los criterios adoptados para la evaluación estructural de la torre autosoportada cuadrada existente de 50.40m de altura más un mástil de 6m en la cúspide (Site: EL PALOMAR, 0130903_AQ) ubicado en la Calle Ambrosio Vucetich N° 120 – Parque Industrial Mz. K – Lt. 1-A, distrito de Arequipa, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa, a la cual se encuentra instalada un número de antenas de Radio Frecuencia y equipos de Telecomunicación que más adelante se detalla.

En la presente también se especifican los materiales utilizados, las cargas consideradas, sus combinaciones, método de análisis, las normas y códigos que se emplearán en el presente informe.

RESUMEN

Para la evaluación estructural de la torre autosoportada se realizó considerando fundamentalmente las fuerzas producidas por el empuje del viento, que es la condición más desfavorable por tratarse de estructuras esbeltas y ligeras.

Las expresiones usadas para determinar la presión del viento tanto en la estructura metálica como en las escalerillas, antenas de tipo RF, antenas de tipo MW (microondas) y demás accesorios de la torre son dadas por la norma TIA/EIA 222-F (Roy Coarita, 2016).

Las dimensiones de la estructura son las que se entregan a continuación:

- Altura total de torre de celosía cuadrada 50.40m.
- Altura de mástil arriostrada de 6m en la cúspide de la torre.
- Longitud entre montante en la base de la torre de 2.00m.
- Longitud entre montante en la parte superior de la torre de 1.00m.

NORMAS DE DISEÑO

Para el diseño y fabricación de la estructura nos basamos en Normas y Códigos Nacionales e Internacionales.

- Norma TIA/EIA 222 – F. “Structural Standards for steel antenna towers and antenna supporting structures”
- AWS D1.1 “American Welding Society”
- AISC “American Institute of Steel Construction”

ANALISIS Y DISEÑO DE TORRE AUTOSOPORTADA TRIANGULAR 42 m – RINCONADA

AUTOR: ING. ROY COARITA

RESUMEN

La presente memoria de cálculo describe los criterios adoptados para la evaluación estructural de una torre de 42m.

GEOMETRIA DE LA ESTRUCTURA

La estructura de la torre consta de una estructura regular cuadrada en toda su altura

- N° de Lados = 3
- Altura total = 42.0m
- Ancho de la base = 4.3 m

NORMAS DE DISEÑO

Para la verificación de la estructura nos basamos en Normas y Códigos Nacionales e Internacionales.

- Norma TIA/EIA 222 – F. “Structural Standards for steel antenna towers and antenna supporting structures”
- AWS D1.1 “American Welding Society”
- AISC “American Institute of Steel Construction”

METODOLOGÍA DE DISEÑO

La evaluación de la estructura se realizará considerando el Método de Esfuerzos Admisibles (ASD), bajo el supuesto de pequeñas deformaciones de modo que la estructura se comporte bajo la teoría elástica lineal.

El diseño estructural se realizó en el software especializado en el diseño de estructuras de telecomunicaciones MS-Tower (Roy Coarita, 2016).

2.1.2. Antecedente local

EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE UNA TORRE AUTOSOPORTADA CUADRADA DE TELEFONÍA CELULAR EXISTENTE DE 86m - (SJM - LIMA)

AUTOR: ING. ROY COARITA TINAYA

RESUMEN

En la presente se ha afrontado la optimización del diseño de una torre Autosoportada cuadrada de telefonía celular existente de 86m de altura. Para ello se ha partido de un modelo matemático creado por medio del software MStower en su versión 6.20.1.11 de la compañía Bentley Systems , con la cual se diseñará el modelo matemático de la torre autosoportada mencionada. También se hace uso del software SAP2000 Ultimate en su versión 16.0.0 de la compañía Computer & Structures Inc. (CSI), que es un software de elementos finitos, especializado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento de lo más amplios conjuntos de problemas de ingeniería de estructuras.

Las estructuras en mención deben ser diseñadas para soportar las cargas gravitacionales debido al peso propio de la estructura, el peso del equipo, peso de cables y peso de instalación. Asimismo, deben soportar las cargas

horizontales producidas por la presión y velocidad del viento, así como el sismo que en el lugar de estudio de la torre es considerable (Roy Coarita, 2016).

2.2. Base teórica

2.2.1. Torres de Telecomunicaciones – Celosía Torres Autosoportadas

En ingeniería estructural, una celosía es una estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales). En muchos países se les conoce como armaduras o reticulados. El interés de este tipo de estructuras es que la barras trabajan predominantemente a compresión y tracción presentando comparativamente flexiones pequeñas. El término está tomado de la celosía arquitectónica tradicional.

Las celosías pueden ser construidas con materiales diversos: acero, madera, aluminio, etc. Las uniones pueden ser articuladas o rígidas. En las celosías de nudos articulados la flexión es despreciable siempre y cuando las cargas que debe soportar la celosía estén aplicadas en los nudos de unión de las barras.

Las torres de celosía Estándar y Reforzada se caracterizan por ser apoyos autosoportados de disposición prismática recta con cimentación monobloque (Concreto). Ambos modelos tienen la misma composición. Están constituidas por perfiles angulares de acero laminado, galvanizados en caliente y atornillados entre sí.

La anchura de la torre es de 1,40 m. La altura máxima desde el nivel del terreno hasta la parte superior del apoyo es de 40 m, compuesta por 8 tramos de 5 m más el tramo final de anclaje a la cimentación. Su construcción modular permite montar alturas intermedias de 15, 20, 25, 30 y 35 m. Así, por ejemplo, la torre de 35 m estará formada por los 7 primeros tramos superiores de la torre de 40 m, con su anclaje y cimentación correspondientes. Y así sucesivamente con el resto de las alturas. Su utilización habitual es como soporte de antenas de radiofrecuencia y pequeñas parábolas de radioenlace.

2.2.1.1.Materiales

Acero

El acero es un compuesto que consiste casi totalmente de hierro, normalmente más del 98 %. Contiene también pequeñas cantidades de carbono, sílice, manganeso, azufre, fósforo y otros elementos. El carbono es el que tiene mayor efecto en las propiedades del acero.

La dureza y resistencia aumentan a medida que el porcentaje de carbono se eleva, aunque existe la desventaja que se vuelve más frágil y su capacidad a ser soldado disminuye.

Este material, es el más versátil de todos los materiales estructurales, en cuanto a su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación, durabilidad, ductilidad, etc.

a) Propiedades y/o Ventajas del Acero

- **Alta resistencia**

La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes luces, en edificios altos y en estructuras con condiciones deficientes en la cimentación.

- **Uniformidad**

Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo, como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

- **Elasticidad**

El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, debido a que sigue la Ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos.

Los momentos de inercia de una estructura de acero se pueden calcular exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.

- **Durabilidad**

Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durarán indefinidamente.

Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.

- **Ductilidad**

Es la propiedad que tiene un material para soportar grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos de tensión altos.

Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura.

La naturaleza dúctil de los aceros estructurales les permite fluir localmente en los puntos de concentración de cargas, evitándose fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, permite grandes deflexiones.

- **Tenacidad**

Poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas, porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente.

- **Facilidad de adaptar estructuras nuevas**

Las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles ampliaciones.

Se pueden añadir nuevas crucetas e incluso alas enteras a estructuras de acero existentes.

Ventajas varias

Algunas otras ventajas importantes del acero estructural son lo siguiente:

1. Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conexión simple, como son la soldadura y los pernos (cartelas, platinas).
2. La rapidez de montaje y desmontaje. Menor costo de instalación.

3. La capacidad para laminarse en una gran cantidad de tamaños y formas.
4. La posibilidad de utilización nuevamente después de desmontar una estructura. Material reciclable por excelencia.

b) Desventajas del Acero

○ Corrosión

La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al medio ambiente (aire y al agua) y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.

Sin embargo, el uso de aceros intemperados para ciertas aplicaciones, tiende a eliminar este costo.

Aunque los aceros intemperados pueden ser bastante efectivos en ciertas situaciones para limitar la corrosión, hay muchos casos donde su uso no es factible.

En algunas de estas situaciones, la corrosión puede ser un problema real. Por ejemplo, la falla por corrosión fatiga pueden ocurrir si los miembros de acero se someten a esfuerzos cíclicos y a ambientes corrosivos.

La resistencia a la fatiga de los miembros de acero puede reducirse apreciablemente cuando los miembros se usan en ambientes químicos agresivos y sometidos a cargas cíclicas.

○ Costo de la protección contra el fuego

Aunque los miembros estructurales son inflamables, su resistencia se reduce considerablemente en temperaturas que comúnmente se alcanzan en incendios, el acero es un excelente conductor del calor, de manera que los miembros de acero sin protección pueden transmitir suficiente calor de una sección o compartimiento incendiado de un edificio a secciones adyacentes del mismo edificio e incendiar el material presente.

En consecuencia, la estructura de acero de un edificio debe protegerse mediante materiales con ciertas características aislantes, y el edificio deberá acondicionarse con un sistema de rociadores para que cumpla con los requisitos de seguridad del código de construcciones de la localidad en que se halle.

- **Susceptibilidad al pandeo**

Cuanto más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, tanto mayor es el peligro de pandeo.

- **Fatiga**

Otra característica inconveniente del acero es que su resistencia se puede reducir si se somete a un gran número de inversiones del sentido del esfuerzo, o bien, a un gran número de cambios en la magnitud del esfuerzo de tensión. (Se tienen problemas de fatiga sólo cuando se presentan tensiones).

- **Fractura frágil**

Bajo ciertas condiciones, el acero puede perder su ductilidad y la fractura frágil puede ocurrir en lugares de concentración de esfuerzos.

c) Propiedades Mecánicas Del Acero

Dependen de la composición química, los procesos de laminado y el tratamiento térmico de los aceros, así como de otros factores como son: técnicas empleadas en las pruebas, condición y geometría de la muestra, temperatura existente al llevarse a cabo la prueba, etc.

El espécimen de prueba usual es una muestra cilíndrica y la prueba de tensión, como se muestra el diagrama esfuerzo-deformación a tensión.

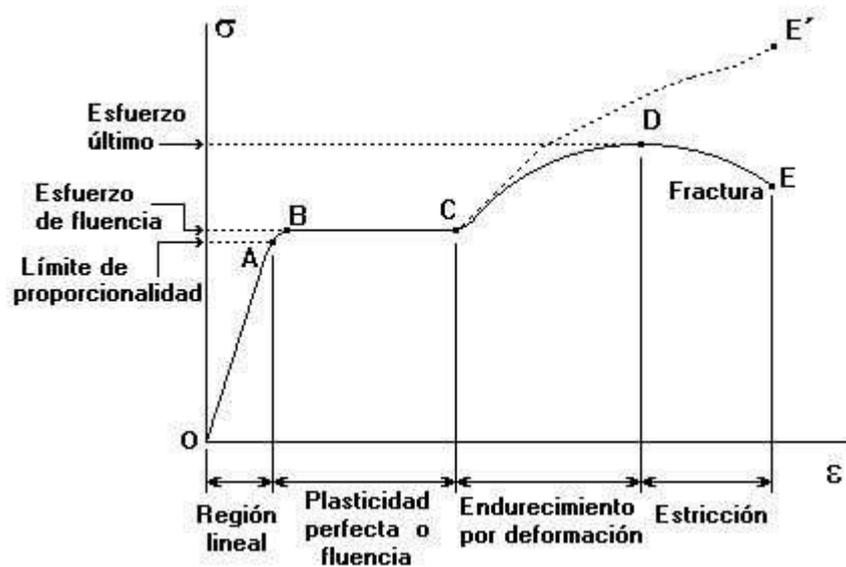


Figura 1. Curva idealizada esfuerzo-deformación del acero. Google.

○ **Punto de Fluencia**

Es el esfuerzo para el cual la deformación presenta un gran incremento sin que haya un aumento correspondiente en el esfuerzo. Esto queda indicado por la porción plana del diagrama esfuerzo-deformación, denominado rango plástico o inelástico.

○ **Resistencia de fluencia**

Punto específico de la Curva Esfuerzo-Deformación de los aceros de alta resistencia tratados térmicamente, que se establece trazando una paralela a la parte inicial elástica de la curva, desfasada una cantidad igual a un 0.20 % de la deformación unitaria, ya que estos aceros no tienen la amplia parte plana correspondiente al flujo plástico.

○ **Resistencia a la tensión**

Se define como el cociente de la carga axial máxima aplicada entre el área de la sección transversal original.

○ **Límite de proporcionalidad**

Es el esfuerzo máximo para el cual los esfuerzos son directamente proporcionales a las deformaciones.

- **Módulo de elasticidad (E)**

Es la relación del esfuerzo a la deformación en la región elástica de la curva esfuerzo-deformación.

El rango típico para todos los aceros, independientemente de la resistencia de fluencia, es de 28 000 a 30 000 ksi. El valor de diseño se toma por lo general como 29 000 ksi (2 038 901.78 kg/cm²).

- **Relación de Poisson (μ)**

Es la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal, bajo una carga axial dada. Este valor varía para el acero, de 0.25 a 0.33, dentro del rango elástico y se toma por lo general 0.30 para el acero.

- **Resistencia a la fatiga**

Es el esfuerzo al cual el acero falla bajo aplicaciones repetidas de carga. La fractura es causada por un número suficientemente grande de repeticiones de esfuerzos, esfuerzos cíclicos o pulsantes, o inversiones de esfuerzos.

2.2.1.2. Tipo de perfiles a utilizar

Los criterios principales para la elección del tipo de perfil a utilizarse en la fabricación de torres se basan en:

Las estructuras de celosía formadas por elementos estructurales esbeltos, y trabajan a tracción o a compresión.

Dependen de la composición química, los procesos de laminado y el tratamiento térmico de los aceros, así como de otros factores como son: técnicas empleadas en las pruebas, condición y geometría de la muestra, temperatura existente al llevarse a cabo la prueba, etc.

Presentar facilidad de conexión entre ellos para formar celosías.

El perfil que trabaja mejor a tracción y compresión es el tubular de sección redonda y hueca puesto que presenta la mejor relación entre radio de giro sobre área, esta propiedad permite conseguir menores relaciones de esbeltez que otras

de geometrías con el mismo peso, por consiguiente mayores resistencias a la compresión, pero presenta una dificultad muy grande para el diseño de juntas elevando demasiado los costos de armado, por esta razón es poco factible el empleo de perfiles tubulares para la fabricación de torres.

Otra posibilidad es el uso de perfiles angulares de lados o alas iguales, ya que estos poseen una buena relación de radio de giro sobre área y facilitan de sobremanera las conexiones entre elementos y al ser abierto facilita el galvanizado, por esta razón este tipo de perfiles es utilizado en casi la totalidad de las torres de telefonía celular.

El diseño, cálculo, dimensionamiento y selección de los perfiles se realiza basado en la norma AISC 325-05, en el anexo A se presenta un extracto de las propiedades geométricas y físicas de los perfiles a utilizarse, tomando en cuenta que se van a usar solo los perfiles de lados iguales.

2.2.1.3. Descripción de la silueta

Es una estructura tronco piramidal de cuatro lados, sección variable, que inicia con una apertura de montantes verticales de 6.00m y reduce su sección con una pendiente constante hasta la altura de 48.00m, donde la sección transversal es de 2.00m, a partir de esta altura la torre continúa con sección constante de 2.00m hasta la parte superior de la torre finalizando con una altura de 60.00m, en los planos respectivos se puede apreciar las dimensiones mencionados.

Es importante señalar que en cualquier tipo de acero habrá que considerar el valor mínimo de Esfuerzo de Fluencia (F) indicado en las normas para los cálculos respectivos y no lo indicado por los certificados de ensayo.

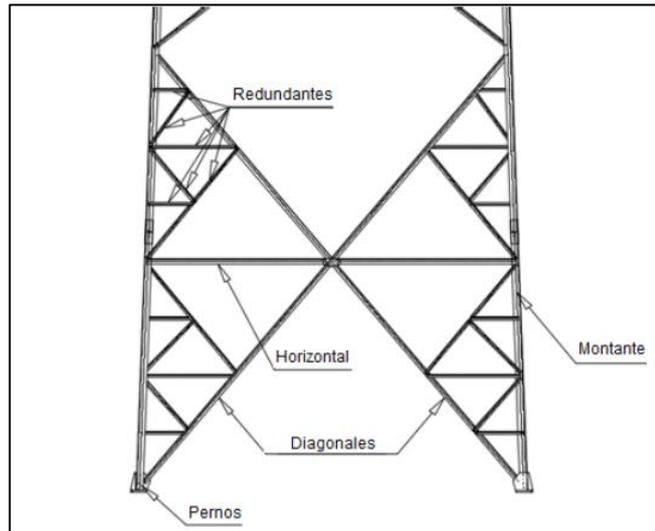


Figura 2. Elementos que conforman la torre autoportada.
Fuente propia.

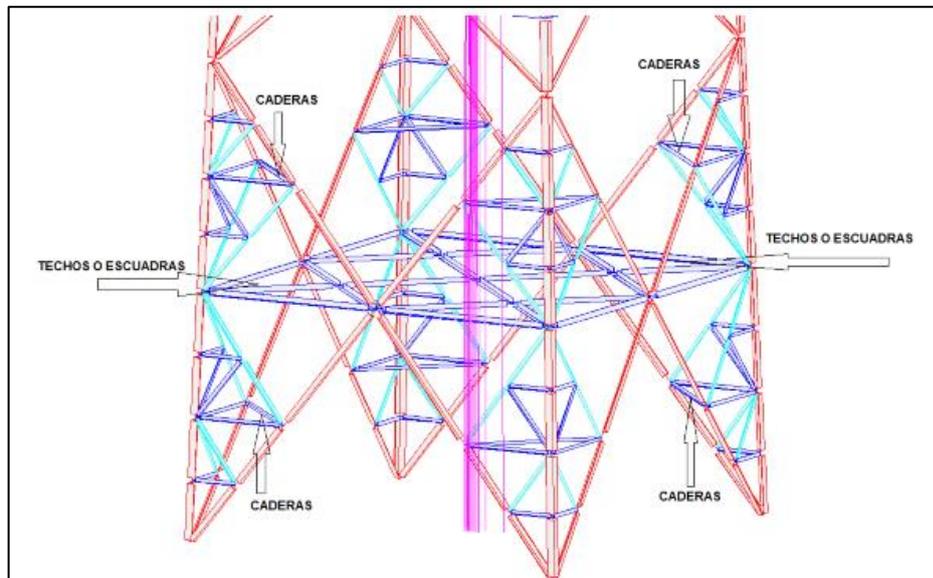


Figura 3. Vista en 3D de elementos que conforman la torre autoportada.
Fuente propia.

2.2.1.4. Soporte para antenas

Soportes de antenas estandarizados para torres de celosía estándar Made Torres, 2014 (Pag.05). Los soportes normalizados responden a dos configuraciones: Soporte Crosspolar y Soporte Minilink.

El soporte crosspolar se amarra a un solo montante de la torre (montaje a esquina).

El minilink es un marco que tiene la posibilidad de montarse en una o varias caras de la torre, o formar un anillo perimetral alrededor de las cuatro caras, dependiendo de la cantidad de antenas a instalar.

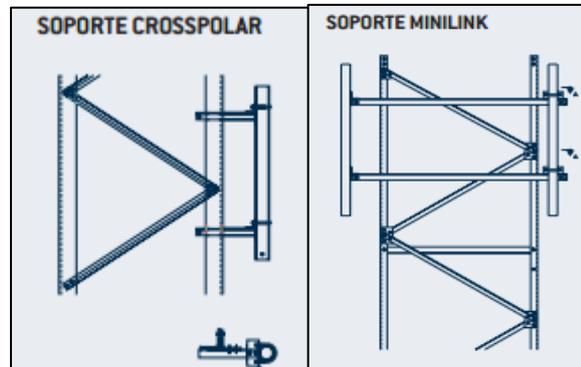


Figura 4. Soportes de antenas estandarizados para torres de celosía estándar / reforzada, Torres de telecomunicaciones.

En los soportes de antenas se diferencian tres elementos:

- Soporte a torre.
- Tubo para soporte de antenas.
- Elementos auxiliares para amarre de tubo a soporte.

Para la solicitud de soportes se indicará:

- El tipo de soporte (Crosspolar o Minilink).
- El tramo de la torre donde se va a instalar.
- El tipo de tubo a fijar al soporte (longitud y diámetro)
- El elemento auxiliar estaría ya definido con los pasos anteriores, pero se pueden pedir individualmente si se precisa alguno más.



Figura 5. Soporte de antenas Minilink o Soporte a cara. Fuente propia.



Figura 6. Soportes de antenas Crosspolar o Soporte a Montante.
Fuente propia.

2.2.1.5. Galvanizado de estructuras de acero

Las torres de telecomunicaciones están de forma predominante formadas por perfiles metálicos de acero los cuales pueden ser:

- Perfiles angulares tipo L (de lados iguales y desiguales)
- Perfiles angulares tipo Canal C
- Perfiles tubulares
- Planchas Roladas
- Platinas

Sin embargo, éstas estructuras tienen un tratamiento específico la cual es el galvanizado en caliente.

Según la Guía Práctica de Galvanizado por Inmersión en caliente (2014, p.15) es el proceso mediante el cual se cubre un metal con otro, con el fin de evitar que la abrasión y corrosión lo afecte. Hay dos tipos de procesos a través de los cuales se puede realizar: galvanizado por inmersión en caliente y el galvanizado en continuo.

Éstas estructuras tienen por lo general en su proceso de construcción la del galvanizado en caliente la cual para la Guía práctica de Galvanizado por Inmersión en Caliente (2014, p.15) es un procedimiento donde se protege contra la corrosión una variedad de productos de hierro y acero. Esto se logra con la inmersión de los productos en un baño de Zinc a una temperatura de 450°C, a esta temperatura, se logra que se produzca la aleación del Zinc con el acero.

El propósito de que estas estructuras presenten este proceso para su fabricación es porque el acero es un metal corrosible y lo que se quiere lograr con este proceso es mitigar el proceso de corrosión.

En la Guía práctica de Galvanizado por Inmersión en Caliente (2014, p.15) describe como principal objetivo del galvanizado es atacar la corrosión. La corrosión produce pérdidas no solo de carácter económico, es un problema importante, debido a que puede causar accidentes tales como la ruptura de una pieza, como consecuencia de la oxidación de la misma, representando de esta manera un peligro para la vida humana.

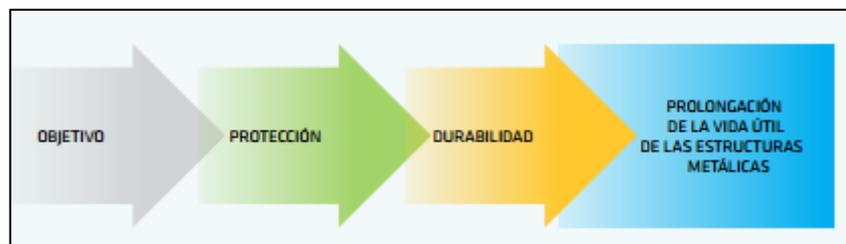


Figura 7. Esquema de Objetivo principal del proceso de Galvanizado.
Fuente propia.

2.2.2. Tipología de torres de telecomunicaciones

Podemos definir la tipología de las torres de telecomunicaciones de acuerdo a:

- Basados en su uso o colocación
- Basados en su conformación estructural

2.2.2.1. Basado en su uso y colocación

Basándonos en su colocación sobre el terreno las torres de telecomunicaciones se pueden dividir en:

DESCRIPCION	GREENFIELD	ROOFTOP
ERECCION	Construido sobre terreno natural con cimentación de acuerdo a su EE.	Construido sobre edificaciones con columnas y vigas metálicas
ALTURA	30 – 200 m	3 – 30m
UBICACION	Areas Rurales	Areas Urbanas

Tabla 1. Torres basadas en Uso o Colocación

2.2.2.2. Basado en su conformación estructural

Las torres de acuerdo a su conformación o construcción se clasificarán en 03 grandes grupos:

1. Torres Autosportadas
2. Torres Arriostradas
3. Torres Monopolos

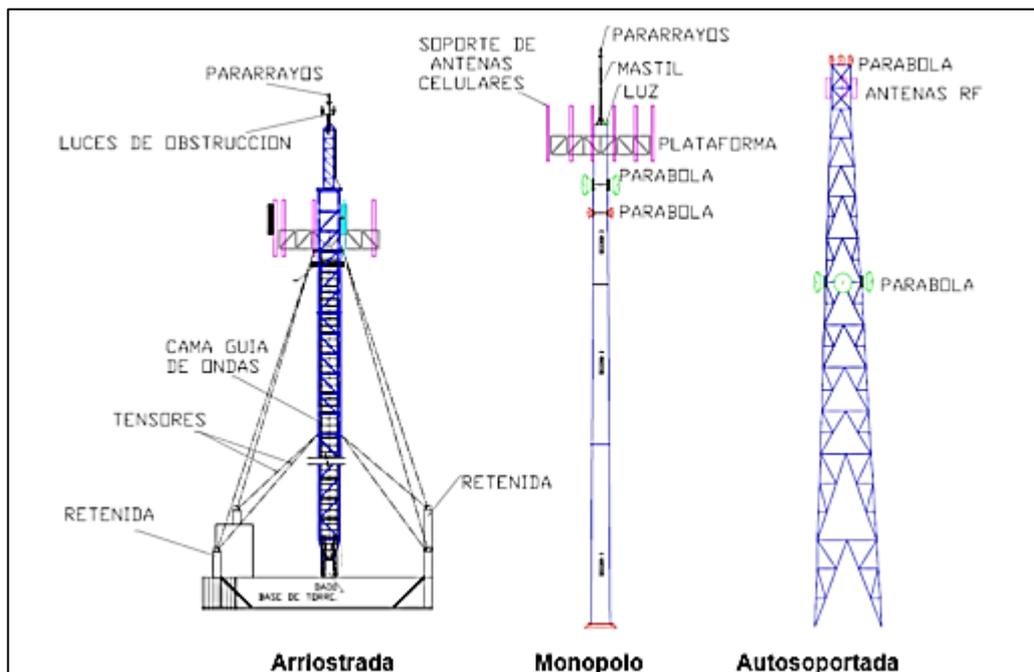


Figura 8. Tipos de Torres basadas en su conformación estructural. Proyecto Confutura.

1. Torres Arriostradas

Son aquellas que como su nombre lo indica, se encuentran arriostradas en toda su longitud o altura, por cables de acero tensados y anclados a la superficie del terreno o estructuras existentes (azotea), con el fin de que la torre tenga la rigidez necesaria que evite grandes deflexiones, ya que son estructuras muy esbeltas comparadas con las torres autoportadas.

Se usan generalmente cuando hay disponibilidad de espacio o terreno, su costo es aproximadamente la mitad de la torre autoportada, dependiendo del tipo de carga a soportar.

En cuanto a su mantenimiento las torres arriostradas son menos seguras que las torres autoportadas, ya que los cambios de algún elemento estructural, se deben realizar de buena manera para evitar el colapso de la torre.

Se requiere mayor mantenimiento en el retensado de cables y sustitución de los mismos, así como la revisión periódica en cuanto a su verticalidad.

Los tamaños comúnmente diseñados son de: 12m, 15m, 18m, 24m, 30m, 36m, 42m y 48m. Así mismo en cuanto a los diseños extraordinarios podemos encontrar alturas desde 72m hasta los 100m.



Figura 9. Torre Arriostrada con cables de vientos – Greenfield. Fuente propia.



Figura 10. Torre Arriestrada con tubo de acero - Rooftop.
Fuente propia.

2. TORRE MONOPOLO

Son postes huecos hechos de acero galvanizado que se construyen de tubos articulados que pueden llegar hasta 60 metros.

Debido a su construcción, son costosos de fabricar, pero simples de realizar el proceso de Izaje. Se utilizan sobre todo en ambientes urbanos donde hay espacio limitado disponible para la base de la torre.

Por ejemplo, el área máxima de un monopolo de 40m de altura es de unos 2x2m.

Este tipo de torre son instaladas en lugares en donde se requiere conservar la estética pues son las que ocupan menos espacio, y se pintan de algún color o se adornan para que se permita que la estructura se mimetice y se simule, por ejemplo, el de una palmera, aunque esto puede ser concepción de un proyecto para que se aplique en nuestro país en las ciudades donde se quiera moderar el impacto visual por parte de torres (radio bases) de telefonía celular.



Figura 11. Torre Monopolo con mimetizado tipo radomo - Greenfield. Fuente propia.



Figura 12. Torre Monopolo mimetizado o camuflado tipo palmera – Greenfield. Fuente propia.



Figura 13. Torre Monopolo – no presenta mimetizado. Fuente propia.

3. Torres A

Son las estructuras más conocidas; el diseño se realiza para que la torre se mantenga estable, ya que los esfuerzos se les transmiten a los montantes que están ancladas a las bases de cimentación.

Las torres autosoportadas son de tipo piramidal con tres montantes (base triangular) y cuatro montantes completamente verticales (base cuadrada).

Se deben cumplir estándares de calidad ASTM para este tipo de torres. Para su fabricación se utilizarán materiales de la más alta calidad, diferentes calibres y espesor de pared, galvanizados por inmersión en caliente posterior a su fabricación. La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y del fabricante de la torre.

Las torres deberán contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que están sometidas (tracción, compresión, deslizamiento y volteo).

Las torres autosoportadas están formadas por perfiles angulares formando secciones generalmente fabricadas con hierro galvanizado para resistir la corrosión.

Cuanto más ancha es la base de la torre, mayor carga puede tolerar. La torre ocupada, debe tener la puesta a tierra y considerar la conveniencia de utilizar cable apantallado para los datos y que los cables de guías de onda donde viaja la señal hacia y desde los equipos debe tener una escalerilla independiente.



Figura 14. Torre Autoportada – Sección Triangular - Greenfield. Fuente propia.



Figura 15. Torre Autoportada – Sección Cuadrada – Greenfield. Fuente propia.

2.2.3. Cimentación de torres de telecomunicaciones

La cimentación de las torres de telecomunicaciones es de acuerdo a la tipología de la torre.

2.2.3.1. Torres Arriostradas

Para este tipo de torre la cimentación a utilizar son pedestales de concreto de dimensiones entre 40 – 50 cm y con detalle respectivo de acuerdo a Evaluación Estructural.

Al ser torres Rooftop, la cimentación de los pedestales son continuación de las vigas y columnas.

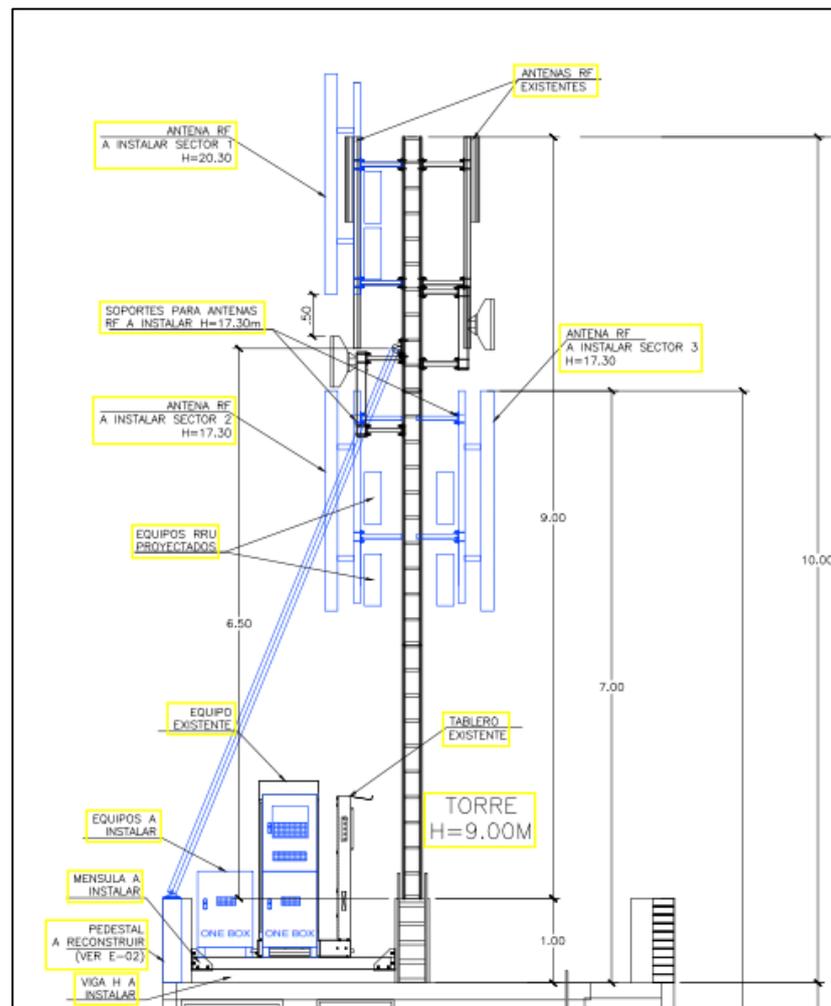


Figura 16. Plano de Torre Arriostrada – Elevación cimentación. Fuente propia.

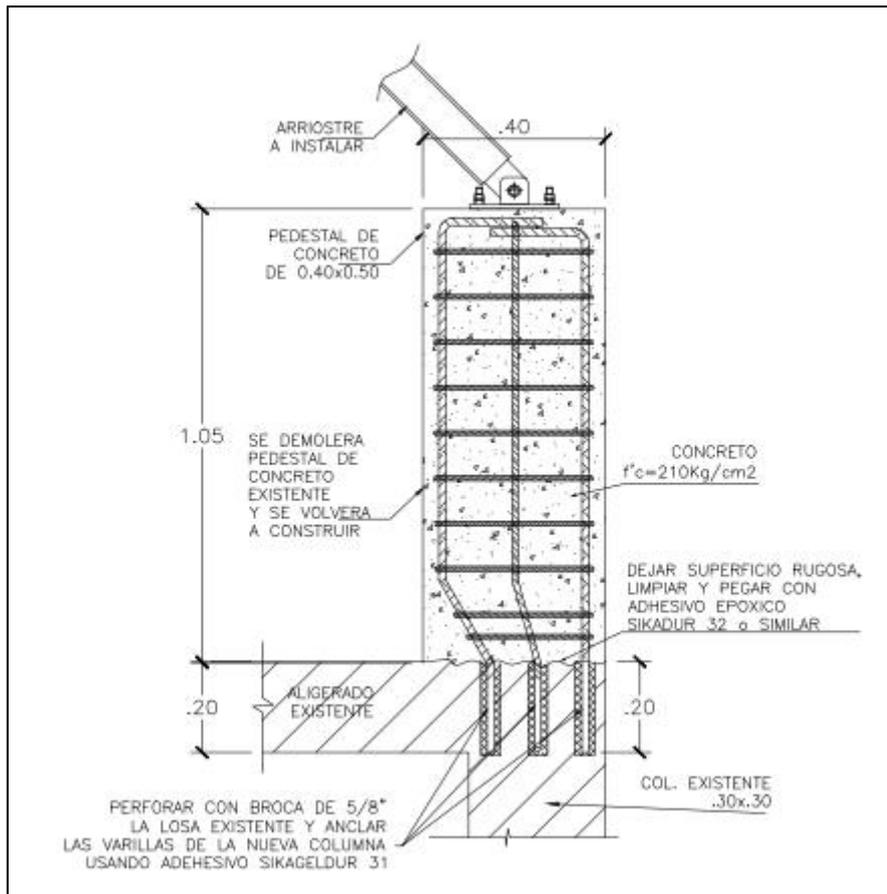


Figura 17. Detalle Estructural de Cimentación Torre Arriostrada. Fuente propia.



Figura 18. Construcción de Pedestal para Torre Arriostrada. Fuente propia.

2.2.3.2. Torres Ventadas

Para este tipo de torre la cimentación a utilizar son pedestales de concreto de dimensiones entre 40 – 50 cm y se adicionan zapatas de 2.00 x 2.00 m y con detalle respectivo de acuerdo a Evaluación Estructural.

Al ser torres Greenfield, la cimentación es a nivel de terreno natural por lo que es una cimentación más profunda.

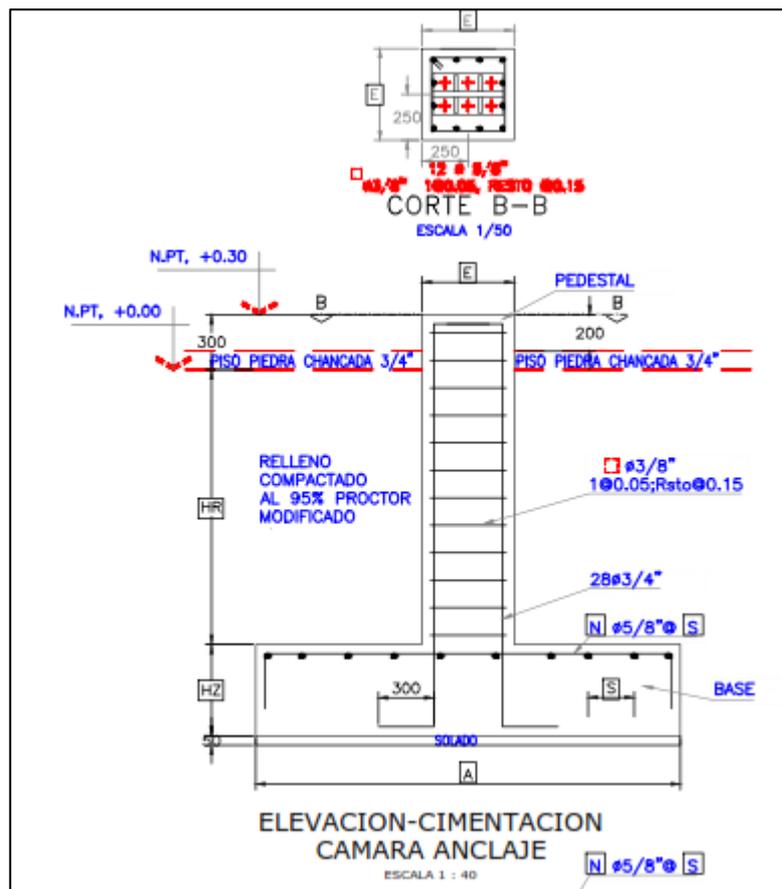


Figura 19. Detalle de cimentación de Torre Ventada - Elevación. Fuente propia.



Figura 20. Construcción de Cimentación para Torre Ventada.
Fuente propia.

2.2.3.3. Torres Monopolo

Para este tipo de torre la cimentación se utiliza un solo pedestal de concreto de dimensiones entre 60 – 70 cm y se adicionan zapatas de 2.50 x 2.50 m y con detalle respectivo de acuerdo a Evaluación Estructural.

Al ser torres Greenfield, la cimentación es a nivel de terreno natural por lo que es una cimentación más profunda.

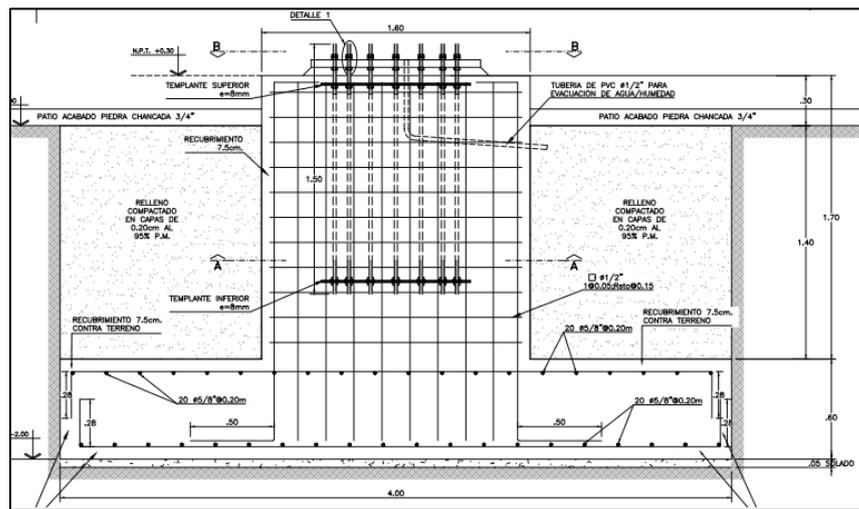


Figura 21. . Detalle de cimentación de Torre Monopolo –
Elevación. Fuente propia.



Figura 22. Construcción de Cimentación de Torre Monopolo.
Fuente propia.

2.2.3.4. Torres Autoportada

Para este tipo de torre la cimentación se utiliza con pedestales de concreto de acuerdo a la base de la torre (Sección Triangular y Cuadrada) de dimensiones entre 60 – 70 cm y se adicionan zapatas de 4.50 x 4.50 m aprox. y con detalle respectivo de acuerdo a Evaluación Estructural.

Al ser torres Greenfield, la cimentación es a nivel de terreno natural por lo que es una cimentación más profunda.

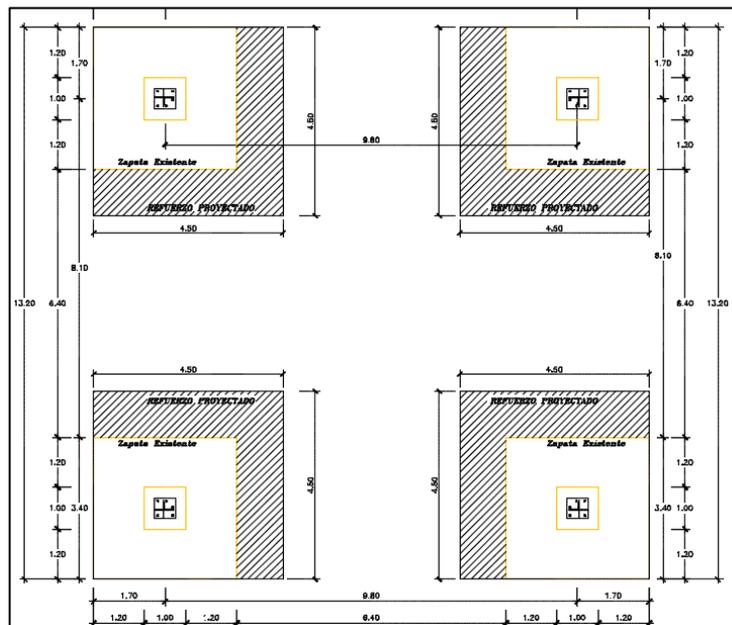


Figura 23. Plano Planta de Cimentación de Torre Autoportada. Fuente propia.



Figura 24. Construcción de Cimentación de Torre Autosoportada. Fuente propia.

2.2.4. Reforzamiento de edificaciones para construcción de torres de telecomunicaciones Rooftop

Para la construcción de torres de telecomunicaciones, específicamente las torres Rooftop, las cuales son construídas en la parte superior de edificaciones, en algunos casos donde es imperiosa la necesidad de construir una torre de telecomunicaciones y la edificación no puede soportar las cargas necesarias, luego de la Evaluación Estructural respectiva, se tiene que realizar el Proyecto de Reforzamiento.

Este reforzamiento tiene que ser el menos invasivo posible, ya que algunas estaciones se encuentran en zonas contingentes sociales y/o de difícil acceso por la población, en algunos casos las personas de la comunidad se oponen a la construcción de las mismas.

En tal sentido el reforzamiento que predomina para repartir las cargas es aumentar la sección de las columnas del ultimo nivel previo a la construcción de la estación y a nivel de la estación con vigas H, las cuales repartirán las cargas.



Figura 25. Instalación de Vigas H para repartir cargas de Estación. Fuente propia.



Figura 26. Vigas H para repartir cargas de Torre Monopolo. Fuente propia.

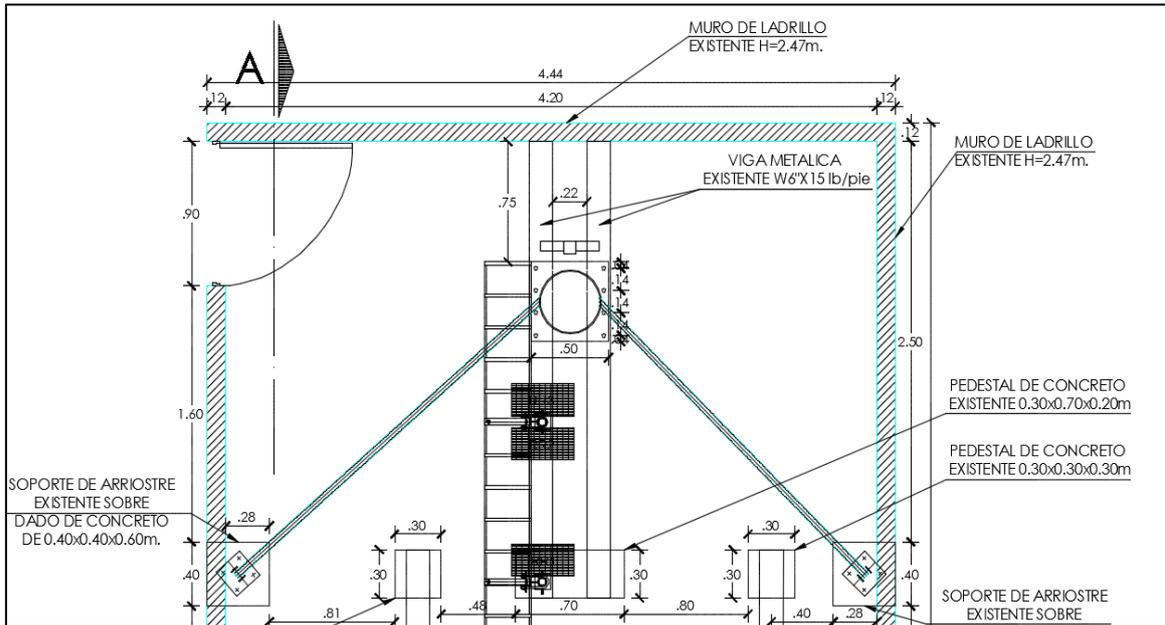


Figura 27. Plano Planta Arquitectura - Vigas H para repartir cargas de Torre Monopolo. Fuente propia.

2.2.5. Conceptualización estructural de torres autoportadas

Las torres autoportadas, son las estructuras que soportan mayor peso, ya que cuentan con mayor número de antenas de radio-frecuencia y antenas microondas, por lo que la sección de éstas es más ancha y los perfiles a utilizar tienen una disposición de mayor sección a menor sección de acuerdo a la altura de la misma.

2.2.5.1.1. Montaje de Placa Base

El montaje de la placa base se realiza teniendo en cuenta el nivel en el cual se han construido los pedestales, los cuales deben estar previamente tarrajados y nivelados para proceder con el montaje.

Una vez realizado la instalación de la placa base se tiene que verificar con un nivel de ingeniero en los extremos de las mismas para poder verificar el correcto nivel y proceder con el izaje de la primera montante del primer cuerpo de la torre.



Figura 29. Izaje de Montante de Cuerpo de Torre Autosoportada. Fuente propia.

2.2.5.1.2. Montaje de Cuerpos de torre

El montaje de los cuerpos de la torre se tiene que realizar una vez verificado en campo el correcto nivel de las primeras montantes instaladas.

Para realizar el izaje de estas estructuras la cuadrilla de pre-armado previamente tiene que haber armado las estructuras para que éstas con la utilización de una grúa puedan conectarse a los cuerpos de la torre con la cuadrilla de montaje.



Figura 30. Izaje de Cuerpos de Torre Autoportada. Fuente propia.

2.2.5.1.3. Montaje de Accesorios de Torre

Una vez que los cuerpos de la torre se encuentran instalados por la cuadrilla de montaje, la cuadrilla de remate se encarga de verificar la pernería de la torre y de cambiar piezas que no son las óptimas para la recepción de la obra, además de eso son los que se encargan de instalar los accesorios de la torre, los cuales son:

- Roldanas Metálicas – para Soportes RF y MW
- Soportes a Montante
- Soportes a Cara
- Escalera de ascenso
- Escalera de cables feeders
- Línea de vida



Figura 31. Roldana Metálica Instalada en parte superior de torre autosoportada. Fuente propia.



Figura 32. Soporte a cara Instalado en Torre Autosoportada. Fuente propia.

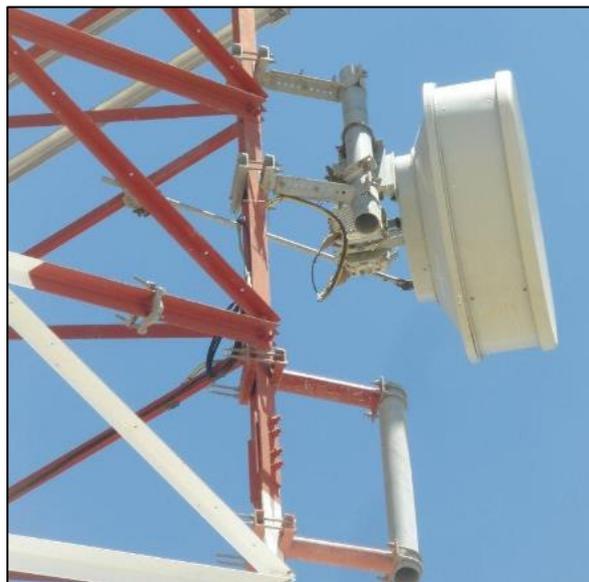


Figura 33. Soporte a montante Instalado en Torre Autosoportada para Antena Microondas (MW) . Fuente propia.

2.2.5.2. Determinación de altura – ancho de base para torres autoportadas

Para poder conocer a ciencia cierta la altura necesaria para la construcción de una torre autoportada, se debe de realizar un estudio topográfico, donde se pueda visualizar la altura de la torre donde se quiere enlazar la señal requerida por los operadores, ésto para optimizar y ampliar el radio de comunicación necesaria.

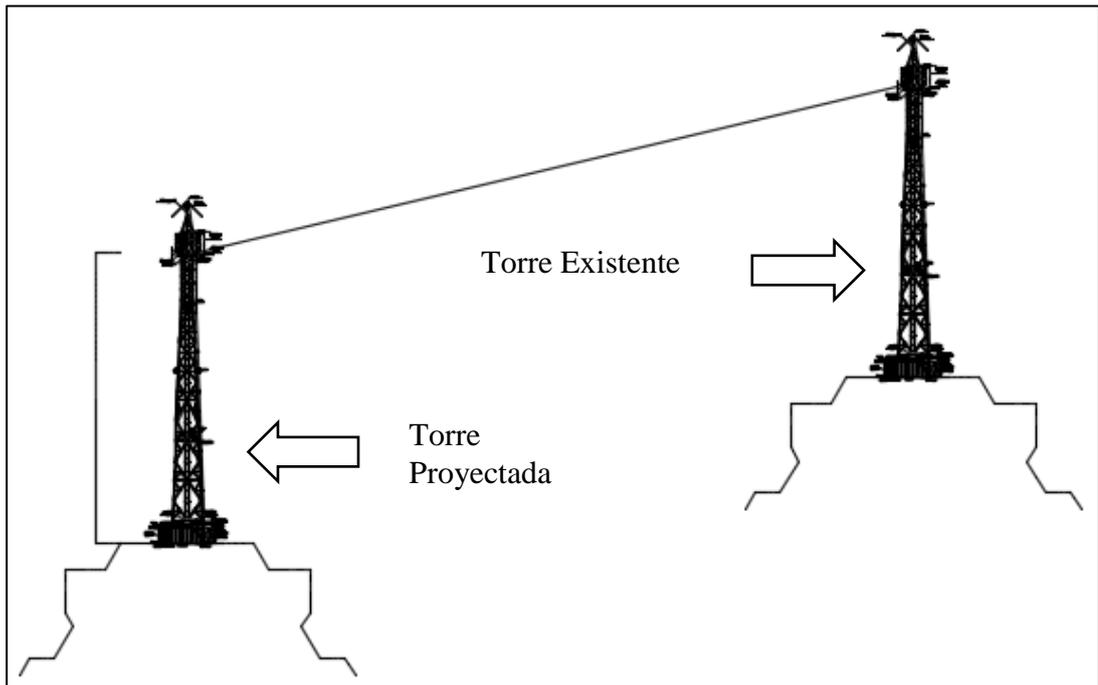


Figura 34. Esquema enlace de torres y altura requerida. Google.

El ancho de la base de la torre va a depender del espacio físico donde se requiera construir la radio base, en algunas ocasiones el espacio es muy reducido por lo que hay que evaluar mediante criterios de dimensionamiento el ancho óptimo de una torre para un área determinada.

2.2.6. Antenas presentes en Torres Autoportadas.

2.2.6.1. Atenas de radio frecuencia

Son las antenas emisoras de señal para la comunicación por celular e internet, tienen menor peso que las antenas microondas (Microwave – MW) y los soportes en las cuales son instalados son soportes a montante.

Mechanical Properties				
Antenna dimensions (H x W x D) (mm)	2600 x 548 x 150			
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	3000 x 770 x 260			
Antenna weight (kg)	57.7			
Clamps weight (kg)	5.8 (2 units)			
Antenna packing weight (kg)	77.9 (Included clamps)			
Mast diameter supported (mm)	50 - 115			
Radome material	Fiberglass			
Radome colour	Light grey			
Operational temperature (°C)	-40 .. +65			
Wind load (N)	Frontal: 1955 (at 150 km/h) Lateral: 295 (at 150 km/h) Rear side: 2070 (at 150 km/h)			
Max. operational wind speed (km/h)	200			
Survival wind speed (km/h)	250			
Connector	12 x 7/16 DIN Female			
Connector position	Bottom			
Accessories				
Item	Model	Description	Weight	Units per antenna
Downtilt kit	ASMDT0F01	Mechanical downtilt: 0 - 8 °	3.1 kg	1 (Separate packing)



Figura 35. Data Sheet – Descripción de Antena Radiofrecuencia Huawei 12 puertos. Google.

2.2.6.2. Antena microondas

Éstas antenas son las que enlazan la señal entre torres, tienen mayor peso que las antenas de radio frecuencia, cuentan con diámetros diversos entre 0.30m hasta 3.70m.

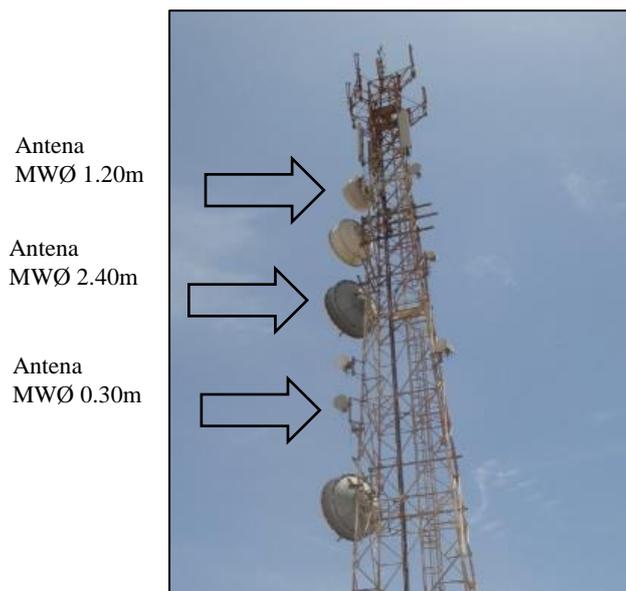


Figura 36. Antenas microondas presentes en torre autoportada. Fuente propia.

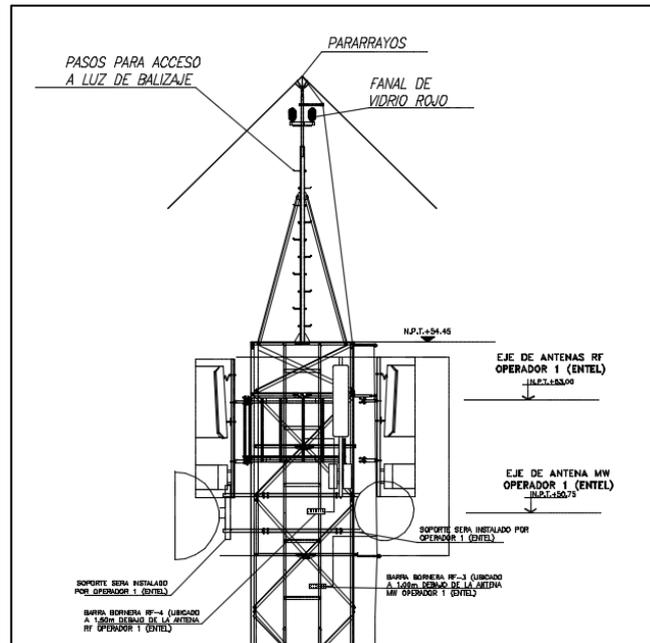


Figura 37. Detalle de Antenas RF y MW presentes en Torre Autosoportada. Fuente propia.

2.2.7. Solicitación mínima de los operadores para antenas RF y MW

A nivel nacional los distintos operadores existentes (Entel, movistar, claro, biotel) tienen como requisito mínimo para poner en funcionamiento u “on air” a las estaciones de telecomunicaciones o radio bases una cantidad de antenas emisoras o de radio-frecuencia (RF) y microondas (MW).

Esto en sí tiene incidencia por el peso de cada antena que tenga en la estructura, ya que la estructura a construir debe de soportar mínimamente el peso de estas antenas.

El estándar a nivel nacional para el funcionamiento de una estación es de:

- 02 Antenas de Radio-frecuencia
- 02 Antenas Microondas de Ø1.20m

La razón por la cual son dos antenas de radio-frecuencia es porque éstas tienen un lóbulo de acción para emitir la señal la cual debe tener un azimut requerido a

donde “apuntar”, por lo tanto, mínimamente en las carreteras debe poder emitirlo al norte y al sur.

Para las antenas microondas, la razón por la que deben ser 02 es porque la torre autoportada al ser una greenfield, éstas deben enlazarse con al menos otras 02 para poder triangular la señal en conjunto con las antenas RF.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Formulación de hipótesis

Se logrará una estandarización del diseño de torres autoportadas cuadradas de 24 a 60m porque se cuenta con las herramientas e insumos necesarios para ello.

3.2. Operacionalización de variables

3.2.1. Variable independiente: Altura de la torre

3.2.2. Variable dependiente: El ancho de la base, el peso y rigidez de la torre.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Altura de la torre.	Altura que tomará la torre dependiendo de la solicitud del operados.	Definir altura de ésta según el proyecto a ejecutar en metros.	<ul style="list-style-type: none"> • Solicitud de operador. • Nivel del terreno. • Ubicación geográfica.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente

VARIABLES DEPENDIENTES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
El ancho de la base.	Éste es directamente proporcional a la altura de la torre.	Definido en base a la altura de la torre, aproximadamente el 10% de la altura en metros.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensión del Terreno • Relación Altura-Peso • Factibilidad de Instalación de Equipos TI.
El peso.	Éste depende de los perfiles usados para una buena estructuración y diseño de la torre.	Se selecciona perfiles comerciales que cumplan con el diseño y economicen la estructura.	<ul style="list-style-type: none"> • Perfiles menos pesados • Perfiles Comerciales • Factibilidad de Instalación
Rigidez de la torre.	Medida cualitativa de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.	<p>Resultados de acuerdo al procedimiento de elección de perfiles para que la velocidad del viento no afecte la estructura.</p> <p>Los ratios de estructuras son los resultados que condicionan el diseño.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sección Transversal • Material de Torre • Longitud de Perfiles

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Tipo de diseño de investigación

Cuasi experimental

4.2. Material

4.2.1. Unidad de estudio

4.2.2. Población

La investigación no tiene parámetro de población para el estudio.

4.2.3. Muestra

4.3. Métodos

4.3.1. Técnicas de recolección de datos

Para realizar el análisis necesitamos:

- Buscar estratégicamente el punto donde será ejecutada y enlazada la torre.
- Adquirir el estudio de suelos para evaluar la cimentación de la torre a proyectar.
- Adquirir información de las condiciones climáticas de la zona.
- Realizar los cálculos respectivos para verificar el ancho de base óptima para la torre matriz a plantear; de la cual proyectaremos los diseños de las torres de menor altura comercial.
- Realizar los cálculos de metrado de cargas para tener el dato exacto de cuánto peso va soportar la torre.
- Elegir el perfil menos pesado para que la torre sea lo menos costosa posible.
- Realizar el cálculo mediante el Software de los desplazamientos y que sean comparados con los establecidos en la norma.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO

5.1. Procedimiento para el Diseño de la TAC

- Definir altura de torre matriz – altura comercial 60m
- Definir el AEV – área de exposición al viento en base a antenas a proyectar.
- Definir el perfil base de la torre de acuerdo a peso de antenas.
- Definir perfiles de diseño de torre autosoportada madre.
- Comprobar desplazamientos con la Norma TIA/EIA 222F y comprobar ratios de esfuerzos menores a 1.00.
- Comprobar el diseño para torres de diferentes alturas.
- Realizar Gráficos de dispersión para tener información ordenada.

5.2. Diagrama de flujo para el diseño de la TAC



Figura 38. Diagrama de flujo propuesto para el diseño de Torres Autosoportadas cuadradas. – Fuente propia

5.3. Criterios de Dimensionamiento de Torres Autosoportadas

5.3.1. Relación ancho – altura de la TAC

Para el diseño de una TAC se debe tener en cuenta el ancho adecuado de la base con respecto a la altura, es decir cuál es el ancho óptimo que debe tener una torre midiéndolo a eje de montante.

En nuestro caso, lo que se plantea es encontrar el factor de acuerdo a la altura de la torre para poder obtener el ancho adecuado.

De acuerdo a estudios realizados por el Ing. Carlos López Vega, en los que como asistentes del mismo hemos podido realizar una comparación y encontrar ese factor aproximado para éste fin.

El procedimiento a realizar para poder encontrar este factor es el cruce de información o curvas:

- Altura vs Peso (Altura de Torre vs Peso de Torre)
- Altura vs Deformaciones (Altura de Torre vs Deflexión más crítica)

Sin embargo para poder encontrar este factor y poder cruzar esta información no sólo basta con realizar el estudio en base a sólo 2 antenas microondas y 2 antenas de radiofrecuencia, si no poder cargar la torre con diferentes solicitaciones con el fin de poder encontrar las relaciones:

- A mayor altura con un ancho determinado de torre, cuál es el peso.
- A mayor altura con un ancho determinado de torre, cuál es su deformación en la cúspide.

Para este estudio se tomó de referencia una torre de 90 m donde las deformaciones son mayores y donde se podía discriminar de una mejor forma los resultados obtenidos.

RELACION DE ANCHO DE BASE CON PESO DE TORRE											
ALTURA (m)	% ANCHO	7.5%H	8.0%H	8.5%H	9.0%H	9.5%H	10.0%H	10.5%H	11.0%H	11.5%H	12.0%H
	ANCHO (m)	6.75	7.20	7.65	8.10	8.55	9.00	9.45	9.90	10.35	10.80
	PESO (ton)	16.44	16.49	16.60	16.80	16.91	16.94	16.99	17.23	17.52	18.05

Tabla 4. Relación de Ancho de Base con Peso de Torre. Ing. Carlos Lopez.

RELACION DE ANCHO DE BASE CON DEFORMACION DE TORRE											
	% ANCHO	7.5%H	8.0%H	8.5%H	9.0%H	9.5%H	10.0%H	10.5%H	11.0%H	11.5%H	12.0%H
	ANCHO (m)	6.75	7.20	7.65	8.10	8.55	9.00	9.45	9.90	10.35	10.80
	DEF. (m)	1.46	1.36	1.27	1.17	1.10	1.09	1.05	1.01	0.97	0.93
	DEF. (°)	0.753	0.701	0.654	0.603	0.567	0.562	0.540	0.521	0.500	0.479

Tabla 5. Relación de Ancho de Base con Deflexión de Torre. Ing. Carlos Lopez.

Luego de obtener estos resultados, el paso a seguir para encontrar el coeficiente óptimo es cruzar la información de la base con respecto al peso y a la deflexión en la cúspide la torre.

Esto se realiza mediante un gráfico de dispersión para poder identificar el punto donde éstos gráficos se crucen, teniendo así el coeficiente.

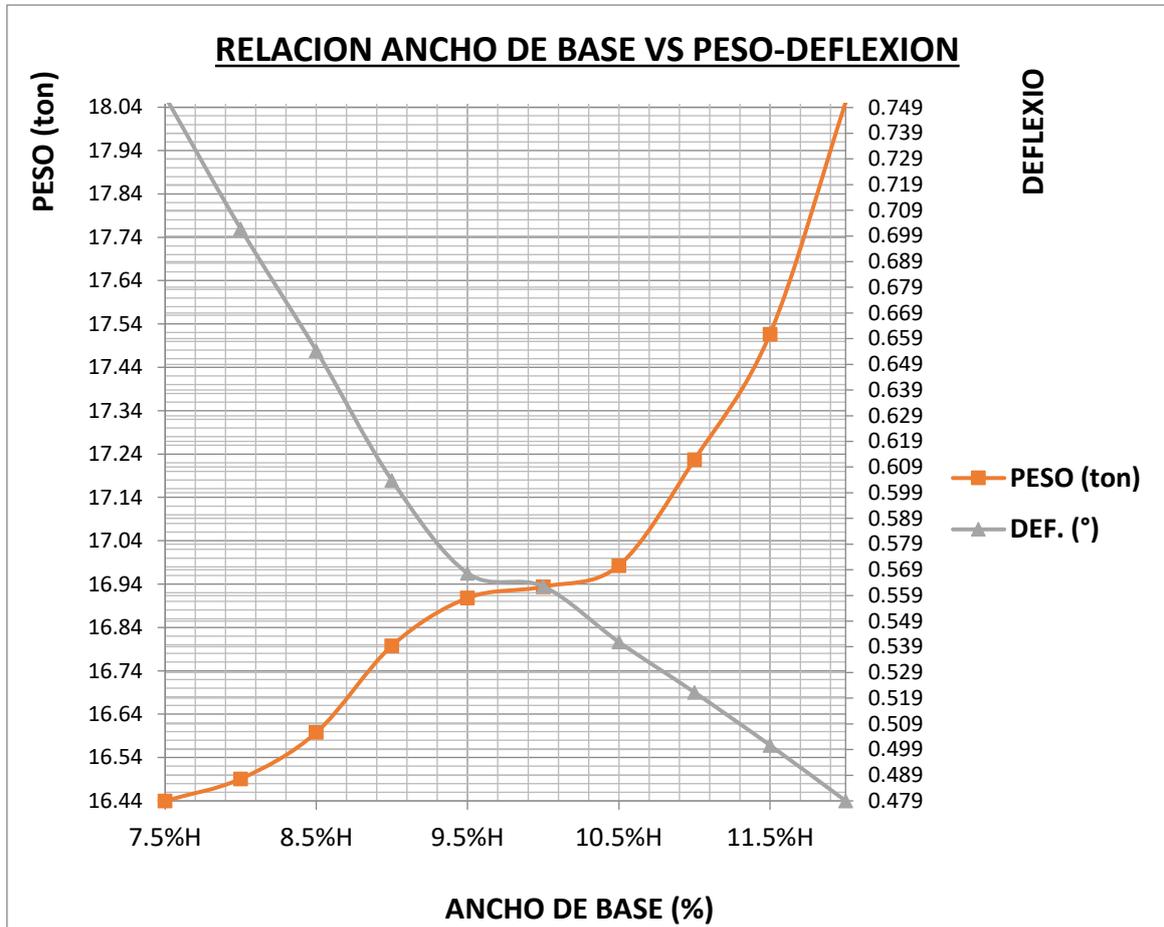


Gráfico 1. Relación de Ancho de Base vs Peso-Deflexión de Torre. Ing. Carlos Lopez.

Como se puede apreciar del gráfico el comportamiento del peso y deflexión de una torre autoportada cuadrada de H=90m de altura ante la variación de los anchos de su base (7.5%h a 12.0%h). La estructura ha sido diseñada con carga constante en los últimos 6m superiores y velocidad de viento de 100km/h.

Las conclusiones obtenidas de éste gráfico son:

- Se puede notar el incremento del peso conforme se aumenta el ancho de la base de la torre.
- La deflexión disminuye conforme se aumenta el ancho de la base de la torre.

- Cuando el ancho de base llega de 9.5%h a 10.5% de la altura, los valores de los pesos y deflexiones prácticamente se mantienen constantes.
- Tomar valores de anchos de base de 9.5%h a 10.5%h, nos dan diseños conservadores, que hacen que en un futuro se puedan incrementar cargas sin sobrepasar los límites de deflexión.
- Un valor conservador de ancho de base en torres cuadradas puede ser del 10% de la altura.

5.3.2. Tramos de la Torre Autosoportada Cuadrada

Para el dimensionamiento de la torre, ya se tiene el ancho óptimo de la torre con respecto a la altura, el cual es el 0.10h ó 10%h, sin embargo, éste ancho no se puede mantener constante ya que sería muy costosa por lo que la torre debe tener una configuración troncocónica, es decir se debe tener lo siguiente:

- 01 Tramo troncocónico
- 01 Tramo recto

El tramo recto es donde se colocarán la mayor parte de los accesorios de la torre, los cuales son las antenas RF y MW, para estandarizar nuestro diseño tendremos como altura de tramo recto 12.00 m, el cual nos garantiza poder en futuras optimizaciones colocar más antenas, previa evaluación estructural.

Para el ancho del tramo recto se debe tener en consideración que las antenas serán instaladas por técnicos torreros y debe garantizar el espacio necesario que puedan realizar estas adecuaciones, para nuestro diseño tendremos como dimensión de ancho de tramo recto entre montantes 2.00m.

5.4. Dimensionamiento de Torres Autosoportadas

Para el estudio que realizamos hemos definido los parámetros de diseño de la estandarización, la cual consiste en diseñar una torre matriz de altura

comercial y en base a éstas diseñar diferentes torres de altura comercial variable, todo esto se aplica en TAC Greenfield.

De lo anterior mencionado se tiene:

- Altura de torre matriz: 60.00m
- Ancho de base de torre: $6.00m - 60 \cdot 0.10 = 6.00m$
- Altura de Tramo Recto: 12.00m
- Altura de Tramo Truncocónico: 48.00m

Además, se tiene el AEV (Área de Exposición al viento) la cual es el área de contacto que va a tener la torre, la cual va a estar sujeta a la solicitud de los operadores (Movistar, Claro, Entel, Bietel); para nuestro estudio tomaremos de referencia la solicitud mínima de los operadores la cual es:

- 02 antenas de Radio-frecuencia
- 02 antenas Microondas Ø 1.20m

La especificación de las mismas son las descritas en el ítem 2.2.5.1 y 2.2.5.2, en el cual describen que:

- La antena de radio frecuencia es la antena huawei de 12 puertos
- La antena microondas será de diámetro 1.20m, por lo que en cuánto al área se tiene:

CALCULO DE AEV			
ANTENA	ANCHO (m)	ALTURA (m)	ÁREA (m²)
RF	0.55	2.60	1.43
MW	1.20	-	4.52

Tabla 6. Cálculo de Área de Exposición al Viento. Fuente propia.

5.5.Cálculo de cargas actuantes en la TAC

Para el cálculo de las cargas o pesos actuantes en la TAC, tenemos que tener en cuenta los parámetros antes mencionados, los cuales son:

5.5.1. Cargas Permanentes

Son los pesos que siempre estarán presentes en la torre, las únicas cargas que estarán perennes en la torre son las antenas RF y MW, además del peso propio de la torre.

5.5.1.1. Peso teórico de torres autoportadas cuadradas

El diseño de torres en nuestro país ha sido por años adaptaciones de las normas europeas (traído por Movistar, antes Telefónica) y en los últimos años las americanas (traído por Claro), por lo que ha sido un proceso asimilado por los profesionales que realizaban estos diseños.

En tal sentido no se cuenta con una bibliografía nacional que sustente este parámetro por lo que hemos visto la necesidad de ver bibliografía extranjera de lo que se tiene:

PESOS TORRES CELOSÍA						
	ALTURA TORRES (m)					
	15	20	25	30	35	40
Estándar	1.482	2.320	3.530	4.875	6.235	7.640
Reforzada	1.750	2.645	3.945	5.355	6.820	8.255

Tabla 7. Pesos Teóricos de Torres en Toneladas. Made Torres.

De la tabla N° 07 se observa que la referencia entre peso y altura de torre es limitada, ya que sólo existe el peso teórico hasta 40m, y nuestra torre matriz es de 60m, por lo que realizamos una interpolación par obtener este resultado, mediante una línea de tendencia y una ecuación.

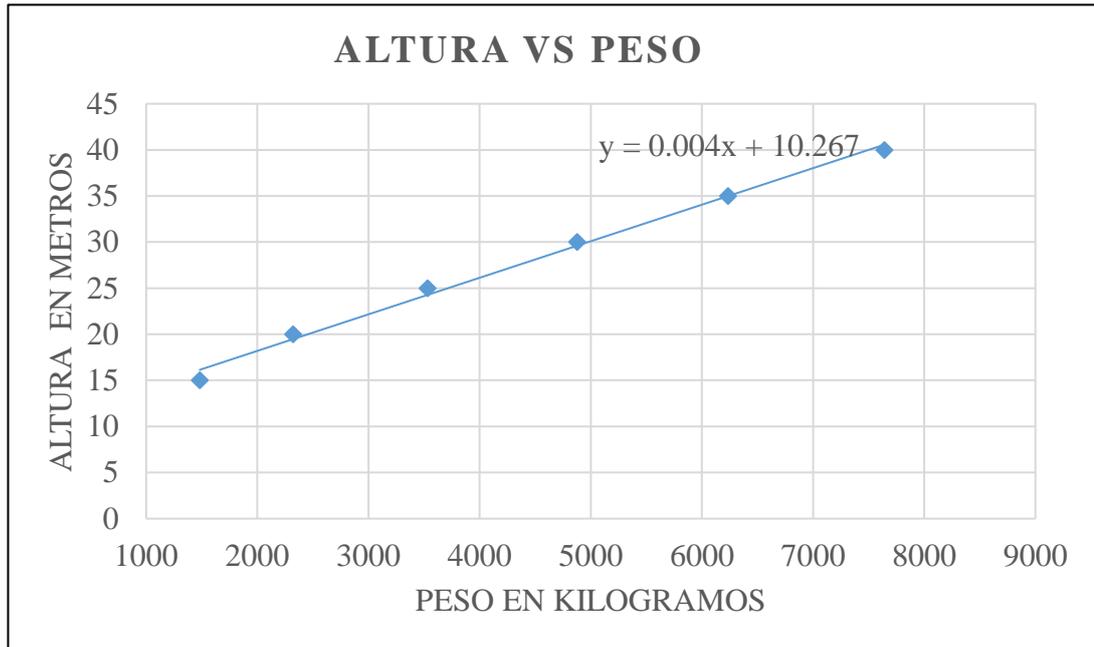


Gráfico 2. Relación de Altura vs Peso para el cálculo de Peso Teórico. Ing. Carlos Lopez.

De la Gráfica N° 02 se tiene la ecuación:

$Y = 0.004x + 10.267$, la cual reemplazaremos para obtener el peso teórico de la torre para una altura de 60.00m. De lo anterior se tiene el valor de: 12 714.6 kg como peso teórico.

5.5.2. Cargas Eventuales

Son los pesos que no estarán presentes el 100% del tiempo que la torre esté en operación, estos pesos son los del personal de mantenimiento y sus herramientas o equipos (arenases de cuerpo completo, sogas, poleas, llaves mixtas y francesas).

Una vez teniendo en cuenta éstos parámetros procedemos a realizar el cálculo del peso total de la torre:

METRADO DE CARGAS EN TORRE A PROYECTAR p/ PRE DIMENSIONAMIENTO - TORRE MATRIZ 60m				
Item		Cantida d	Peso (Kg)	Parcial (Kg)
Cargas Existentes Permanentes (D)				
1.00	Antena Microondas diametro Ø 1.20 + Soporte	02	60	120
2.00	Antena Radio Frecuencia + Soporte	02	25	50
3.00	Peso Propio de la Torre (Montantes, Diagonales, Horizontales, Redundantes) - Teórico	01	12714.6	12714.6
Cargas Eventuales - De uso y/o Mantenimiento (L)				
4.00	Peso de Técnicos de Mantenimiento	02	90	180
5.00	Peso de Herramientas	01	20	20
			Total	13084.6

Tabla 8. Metrado de cargas de TAC

De la gráfica N°08 se tiene el peso total es de 13 084.60 kg ó 13.08 ton. que representa el peso total que las secciones de la torre deben soportar.

5.6. Cálculo de perfil base de la torre

Con los cálculos obtenidos en la tabla N°08, se verifica la carga última que deben resistir los perfiles de la torre, para lo cual tenemos que tener en cuenta estos parámetros para el primer perfil de la torre.

Para realizar estas comparaciones haremos uso del manual del Instituto Americano del Acero American Institute of Steel Construction (AISC) en su edición 14, en la página 760, para verificar el perfil que resiste esa carga.

Verificación en Tabla ϕcPn		11776.14	kg	Comentario
Donde toma el valor de ϕc : 0.90		115484.63	Kg-f	
		254.07	Kip	Entrar a la Tabla con este Valor
	L6x6x1/2	188.00	Kip	No Cumple - Perfil Teórico Comercial
	L6x6x3/4	274.00	Kip	Cumple - Perfil Teórico - Perfil Traído del Extranjero

Tabla 9. Cálculo de Perfil Inicial de Torre

De la tabla N°09 obtenemos los siguientes resultados:

- Perfil L6x6x1/2 – Perfil Comercial más cercano a resistir esa carga.
- Perfil L6x6x3/4 – Perfil No comercial, cumple con la verificación de carga.

Con estos datos podemos obtener los perfiles tentativos a colocar en el diseño, sin embargo, debemos tener en cuenta que, si colocamos un perfil no comercial, el costo de fabricación de éste perfil es mucho mayor por lo que el diseño no será del todo económico, así que para la verificación preliminar del diseño optaremos por emplear el perfil L6x6x1/2.

5.7. Diseño Estructural de TAC matriz y descripción de geometría

Una vez que tenemos definido el perfil base de la torre realizaremos el diseño estructural de la torre matriz para lo cual debemos realizar diversas iteraciones en el programa MS Tower, herramienta la cual nos servirá para comprobar el diseño con los desplazamientos máximos admisibles.

El objetivo principal del diseño es tener la torre menos pesada posible, es decir que los perfiles sean los más delgados posibles y que cumplan con los desplazamientos y ratios de esfuerzo máximos.

Ingreso de Geometría de Torre Matriz en el Programa MS Tower

TITL1 TCA 60m
TITL2 TORRE MADRE
UNITS 1 \$ 1=metric, 4=US

COMPONENT
ESC
END

PROFILE
FACES 4
WBASE 6.0000
RLBAS 0.0000

PANEL 1 HT 2.00 TW 2.00
FACE X LEG 1 BR1 1 H1 1
PLAN PL1 XIP PB1 1 PB2 1

PANEL 2 HT 2.00
FACE XH1 LEG 1 BR1 1 H1 1 R1 0
PLAN PL1 XIP PB1 0 PB2 1

PANEL 3 HT 2.00
FACE XH1 LEG 2 BR1 1 H1 1 R1 0
PLAN PL1 XIP PB1 0 PB2 1

PANEL 4 HT 2.00
FACE XH1 LEG 2 BR1 1 H1 1 R1 0
PLAN PL1 XIP PB1 0 PB2 1

PANEL 5 HT 2.00
FACE XH1 LEG 2 BR1 1 H1 1 R1 0
PLAN PL1 XIP PB1 0 PB2 1

PANEL 6 HT 2.00
FACE XH1 LEG 2 BR1 1 H1 1 R1 0
PLAN PL1 XIP PB1 0 PB2 1

\$.....TRAMO RECTO.....

PANEL 7 HT 6.000
FACE XH3 LEG 9 BR1 1 H1 1 R1 1
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 1 PB3 1 PB4 1 PB5 0 PB6 3 PB7 3

PANEL 8 HT 6.000
FACE XH3 LEG 9 BR1 1 H1 1 R1 1
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 1 PB3 1 PB4 1 PB5 0 PB6 3 PB7 3

PANEL 9 HT 6.000
FACE XH3 LEG 9 BR1 3 H1 3 R1 1
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 1 PB3 1 PB4 1 PB5 0 PB6 1 PB7 1

PANEL 10 HT 6.000
FACE XH3 LEG 9 BR1 5 H1 5 R1 3
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 2 PB3 2 PB4 2 PB5 0 PB6 2 PB7 2

PANEL 11 HT 6.000
FACE XH3 LEG 6 BR1 5 H1 5 R1 3
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 2 PB3 2 PB4 2 PB5 0 PB6 2 PB7 2

PANEL 12 HT 6.000
FACE XH3 LEG 6 BR1 5 H1 5 R1 3
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 2 PB3 2 PB4 2 PB5 0 PB6 2 PB7 2

PANEL 13 HT 6.000
FACE XH3 LEG 7 BR1 5 H1 5 R1 1
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 5 PB3 5 PB4 5 PB5 0 PB6 5 PB7 5

PANEL 14 HT 6.000
FACE XH3 LEG 8 BR1 5 H1 5 R1 1
PLAN PL3X XIP PB1 0 PB2 5 PB3 5 PB4 5 PB5 0 PB6 5 PB7 5

PANEL 15 HT 0.000
FACE @ESC
END

END

SECTIONS

LIBR P:IMP IFACT 1
1 EA2x2x3/16 FY 248 BH 44
2 EA3x3x1/4 FY 248 BH 22
3 EA2.5x2.5x3/16 FY 300 BH 22
4 EA4x4x3/8 FY 248 BH 22
5 EA3x3x5/16 FY 248 BH 22
6 EA4x4x1/2 FY 248 BH 22
7 EA5x5x1/2 FY 248 BH 22
8 EA6x6x1/2 FY 248 BH 22
9 EA4x4x1/4 FY 248 BH 22

END

Ingreso de Cargas Actuantes en TAC

PARAMETERS

ANGN 0.0 \$ Angle Anti-clockwise from X axis to North
CODE EIA222 \$ WIND PROFILE TO THIS CODE
ICE RO 0.0 RW 0.0 \$ For icing
ALTOP 0 \$ SITE + TOWER HEIGHT for icing
VB 27.778
OVERLAP 0 \$ Allow for the overlap of members
END
TERRAIN
ANGLE 0 TCAT 1

END

LOADS

CASE 100 Weight of tower plus ancillaries
DL

CASE 10 wind at 0 to X axis
WL ANGLX 0 NOICE

CASE 15 wind at 15 to X axis
WL ANGLX 15 NOICE

CASE 30 wind at 30 to X axis
WL ANGLX 30 NOICE

CASE 45 wind at 45 to X axis
WL ANGLX 45 NOICE

CASE 60 wind at 60 to X axis
WL ANGLX 60 NOICE

CASE 75 wind at 75 to X axis
WL ANGLX 75 NOICE

CASE 90 wind at 90 to X axis
WL ANGLX 90 NOICE

CASE 105 wind at 105 to X axis
WL ANGLX 105 NOICE

CASE 120 wind at 120 to X axis
WL ANGLX 120 NOICE

CASE 135 wind at 135 to X axis

WL ANGLX 135 NOICE

CASE 150 wind at 150 to X axis
WL ANGLX 150 NOICE

CASE 165 wind at 165 to X axis
WL ANGLX 165 NOICE

CASE 180 wind at 180 to X axis
WL ANGLX 180 NOICE

CASE 195 wind at 195 to X axis
WL ANGLX 195 NOICE

CASE 210 wind at 210 to X axis
WL ANGLX 210 NOICE

CASE 225 wind at 225 to X axis
WL ANGLX 225 NOICE

CASE 240 wind at 240 to X axis
WL ANGLX 240 NOICE

CASE 255 wind at 255 to X axis
WL ANGLX 255 NOICE

CASE 270 wind at 270 to X axis
WL ANGLX 270 NOICE

CASE 285 wind at 285 to X axis
WL ANGLX 285 NOICE

CASE 300 wind at 300 to X axis
WL ANGLX 300 NOICE

CASE 315 wind at 315 to X axis
WL ANGLX 315 NOICE

CASE 330 wind at 330 to X axis
WL ANGLX 330 NOICE

CASE 345 wind at 345 to X axis
WL ANGLX 345 NOICE

\$-----COMBINACIONES-----

CASE 500 Max. tower weight

COMBIN 100 1.200

CASE 510 CARGA: wind at 0 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 10 1.000

CASE 151 CARGA: wind at 15 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 15 1.000

CASE 301 CARGA: wind at 30 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 30 1.000

CASE 451 CARGA: wind at 45 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 45 1.000

CASE 601 CARGA: wind at 60 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 60 1.000

CASE 751 CARGA: wind at 75 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 75 1.000

CASE 901 CARGA: wind at 90 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 90 1.000

CASE 1051 CARGA: wind at 105 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 105 1.000

CASE 1201 CARGA: wind at 120 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 120 1.000

CASE 1351 CARGA: wind at 135 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 135 1.000

CASE 1501 CARGA: wind at 150 to X axis

COMBIN 100 1.200

COMBIN 150 1.000

CASE 1651 CARGA: wind at 165 to X axis

COMBIN 100 1.200
COMBIN 165 1.000

CASE 1801 CARGA: wind at 180 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 180 1.000

CASE 1951 CARGA: wind at 195 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 195 1.000

CASE 2101 CARGA: wind at 210 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 210 1.000

CASE 2251 CARGA: wind at 225 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 225 1.000

CASE 2401 CARGA: wind at 240 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 240 1.000

CASE 2551 CARGA: wind at 255 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 255 1.000

CASE 2701 CARGA: wind at 270 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 270 1.000

CASE 2851 CARGA: wind at 285 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 285 1.000

CASE 3001 CARGA: wind at 300 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 300 1.000

CASE 3151 CARGA: wind at 315 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 315 1.000

CASE 3301 CARGA: wind at 330 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 330 1.000

CASE 3451 CARGA: wind at 345 to X axis
COMBIN 100 1.200
COMBIN 345 1.000
END
ANCILLARIES
LARGE LIBR P:ms_anc.lib \$ use ANC.LIB if library is in DATA area

\$ANTENAS MICROONDAS EXISTENTES
\$=====
MO1A XA 1.00 YA 1.00 ZA 55.0 LIB SH1PR-4 ANG 0 \$ 1.20M

MO2A XA 1.00 YA -1.00 ZA 55.0 LIB SH1PR-4 ANG 0 \$ 1.20M

\$ANTENA RF Y RRU EXISTENTES
\$=====
SECTOR-1A XA 1.00 YA 1.00 ZA 60.00 LIB ASI4517R1 ANG 0
SECTOR-2A XA 1.00 YA -1.00 ZA 60.00 LIB ASI4517R1 ANG 0

LINEAR LIBR P:ms_lin.lib \$ use LIN.LIB if library in DATA area

END
END

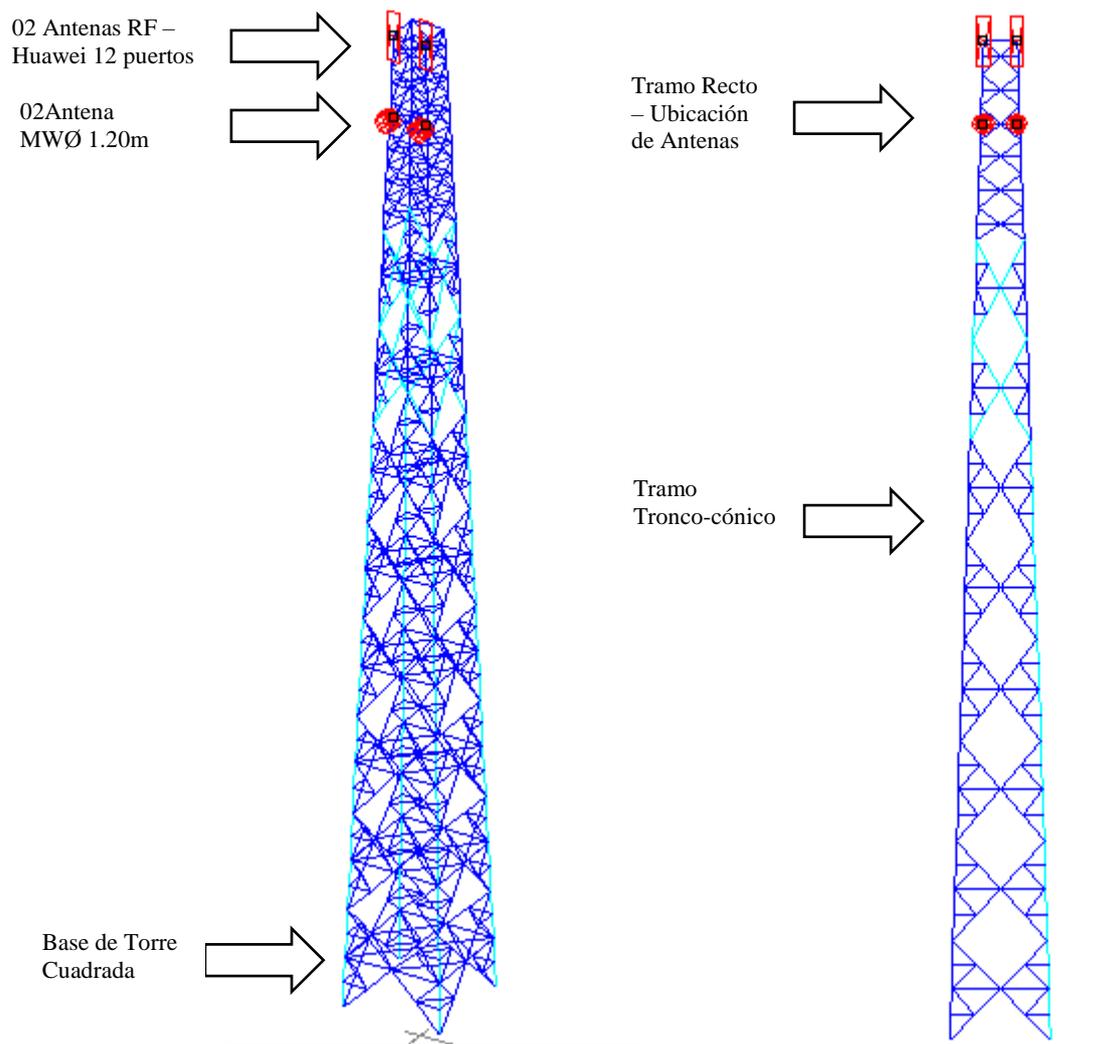


Figura 39. Esquema final de TAC con geometría planteada y antenas RF y MW. Fuente Propia

De la figura 44, podemos visualizar el esquema geométrico de la torre matriz propuesta y de la cual vamos a verificar si los perfiles tentativos cumplen las solicitaciones de la norma TIA/EIA 222F.

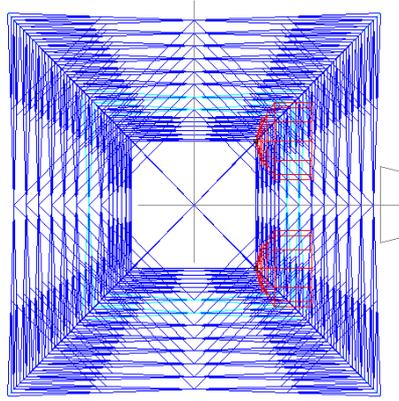


Figura 40. Esquema en planta de TAC.
Fuente Propia

5.8. Desplazamientos obtenidos en la torre matriz

Del ítem 4.5 se obtiene la geometría de la torre y las cargas que se van a añadir a la misma para lo cual tenemos que correr el programa para poder verificar los resultados que queremos obtener.

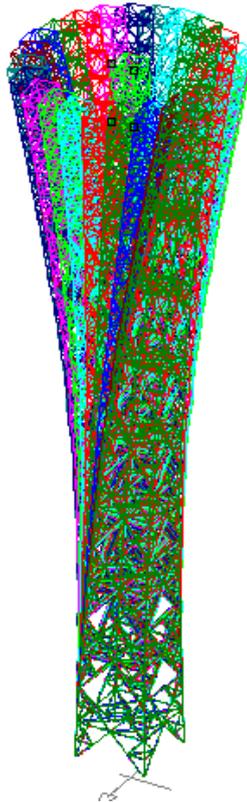


Figura 41. Desplazamiento Proyectado de Torre matriz en todas las combinaciones. Fuente Propia

De la figura 45, visualizamos los desplazamientos de la torre en todas las direcciones de todas las combinaciones de 0° a 345° , la verificación de los miembros para verificación de esfuerzos se hará con los desplazamientos de la combinación más crítica.

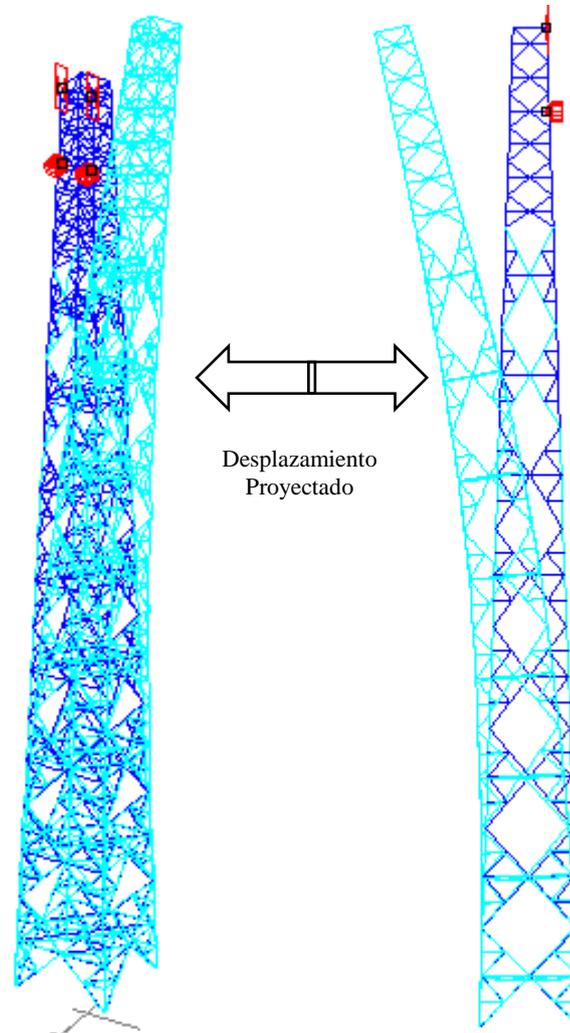


Figura 42. Desplazamiento Proyectado de Torre matriz en Combinación más crítica, velocidad de viento a 0° . Fuente propia.

De la figura 45, podemos verificar que el desplazamiento de mayor incidencia se da justo en donde se encuentra el AEV a 0° , podemos concluir que los datos ingresados y los resultados obtenidos del programa son correctos.

TAC:	60	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.2296	60
67	0.2228	59.032
126	0.2088	57.03
226	0.195	55.029
326	0.1814	53.027
426	0.168	51.026
526	0.155	49.024
633	0.1306	45.2
733	0.0952	39.176
833	0.0649	33.158
933	0.0412	27.143
1033	0.0248	21.13
1133	0.0125	15.12
1233	0.0047	9.111
1333	0.0005	3.103

Tabla 10. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC Matriz. Fuente propia.

De la tabla N°10, podemos apreciar los desplazamientos de los nodos del montante donde se produce la mayor deflexión, donde podemos concluir que están dentro de los exige la norma TIA/EIA 222F, según el siguiente detalle:

Verificación de máximo desplazamiento:

Desplazamiento máximo según TIA-222F: 0.75°

Convertir el desplazamiento de grados a centímetros: $d = \text{Arctg}\left(\frac{D}{H}\right)$

Donde:

D: Desplazamiento en Grados

H: Altura Total de Torre

d: Deflexión máxima

De la fórmula se obtiene:

d: 0.2542 > 0.2296 Valor Aceptado por ser menor al máximo

5.9.Cálculo de peso real de la torre matriz

Para poder encontrar el peso real de la torre, se debe realizar el metrado respectivo de la misma por cada cuerpo.

Cada cuerpo tiene su propia configuración de perfilera y la cual se realizará el metrado para poder luego poder realizar los gráficos de Peso vs Altura de Torre.

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		2"x2"x3/16"	3.63	2	29.04	
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.82	81.8928	
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2	58.08	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	2.82	20.4732	
							189.486

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		2"x2"x3/16"	3.63	2	29.04	
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.82	81.8928	
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2	58.08	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	2.82	20.4732	
							189.486

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		3"x3"x1/4"	7.29	2	58.32	
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.82	81.8928	
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2	58.08	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	2.82	20.4732	
							218.766

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		3"x3"x1/4"	7.29	2	58.32	
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.82	81.8928	
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2	58.08	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	2.82	20.4732	
							218.766

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		3"x3"x1/4"	7.29	2	58.32	
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.82	81.8928	
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2	58.08	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	2.82	20.4732	
							218.766

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		3"x3"x1/4"	7.29	2	58.32	
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.82	81.8928	
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2	58.08	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	2.82	20.4732	
							218.766

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)	
Montante	4		4"x4"x1/4"	7.29	6	174.96		
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	6.41	186.1464		
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.22	64.4688		
Techo	2		2.5"x2.5"x3/16"	4.61	3.14	28.9508		
Escuadra	4		2.5"x2.5"x3/16"	4.61	2.1	38.724		
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.05	15.246		
Red. Horizontal Sup	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	0.625	4.5375		
Red. Horizontal Inf	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	0.625	4.5375		
Red. Diagonal Sup	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.35	9.801		
Red. Diagonal Inf	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.735	12.5961		
								539.9681

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)	
Montante	4		4"x4"x1/4"	7.29	6	174.96		
Diagonal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	6.6	191.664		
Horizontal	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.725	79.134		
Techo	2		2.5"x2.5"x3/16"	4.61	3.85	35.497		
Escuadra	4		2.5"x2.5"x3/16"	4.61	2.4	44.256		
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.2	17.424		
Red. Horizontal Sup	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	0.7	5.082		
Red. Horizontal Inf	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	0.7	5.082		
Red. Diagonal Sup	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.51	10.9626		
Red. Diagonal Inf	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.75	12.705		
								576.7666

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		4"x4"x1/4"	7.29	6	174.96	
Diagonal	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.61	6.82	251.5216	
Horizontal	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.61	3.23	119.1224	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	4.56	33.1056	
Escuadra	4		2"x2"x3/16"	3.63	2.68	38.9136	
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.34	19.4568	
Red. Horizontal Sup	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	0.8	5.808	
Red. Horizontal Inf	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	0.8	5.808	
Red. Diagonal Sup	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.63	11.8338	
Red. Diagonal Inf	2	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.77	12.8502	

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		4"x4"x1/4"	7.29	6	174.96	
Diagonal	2	4	3"x3"x5/16"	9.08	6.8	493.952	
Horizontal	2	4	3"x3"x5/16"	9.08	4.57	331.9648	
Techo	2		2"x2"x3/16"	3.63	6.46	46.8996	
Escuadra	4		2"x2"x3/16"	3.63	3.26	47.3352	
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.63	23.6676	
Red. Horizontal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.61	0.93	8.5746	
Red. Horizontal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.61	0.93	8.5746	
Red. Diagonal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.61	1.715	15.8123	
Red. Diagonal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.61	1.82	16.7804	

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)
Montante	4		4"x4"x1/2"	19.05	6	457.2	
Diagonal	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	14.58	7.35	857.304	
Horizontal	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	4.235	137.214	
Techo	2		3"x3"x3/16"	5.52	5.9	65.136	
Escuadra	4		2.5"x2.5"x3/16"	4.05	2.96	47.952	
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.48	21.4896	
Red. Horizontal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.05	8.505	
Red. Horizontal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.05	8.505	
Red. Diagonal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.81	14.661	
Red. Diagonal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.86	15.066	

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)	
Montante	4		4"x4"x1/2"	19.05	6	457.2		
Diagonal	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	14.58	7.65	892.296		
Horizontal	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	5.68	184.032		
Techo	2		3"x3"x3/16"	5.52	4.74	52.3296		
Escuadra	4		2.5"x2.5"x3/16"	4.05	3.24	52.488		
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.62	23.5224		
Red. Horizontal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.42	11.502		
Red. Horizontal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.42	11.502		
Red. Diagonal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.83	14.823		
Red. Diagonal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.935	15.6735		
								1715.3685

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)	
Montante	4		5"x5"x1/2"	24.11	6	578.64		
Diagonal	2	4	3"x3"x5/16"	9.08	7.97	578.9408		
Horizontal	2	4	3"x3"x5/16"	4.05	5.23	169.452		
Techo	2		3"x3"x3/16"	5.52	7.34	81.0336		
Escuadra	4		2.5"x2.5"x3/16"	4.05	3.82	61.884		
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	1.91	27.7332		
Red. Horizontal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.31	10.611		
Red. Horizontal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.31	10.611		
Red. Diagonal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.97	15.957		
Red. Diagonal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	2	16.2		
								1551.0626

	#	N° de Cuerpos	Perfil	Peso (kg/m)	Longitud(m)	Peso Parcial(kg)	Peso por Cuerpo (Kg)	
Montante	4		6"x6"x1/2"	29.17	6	700.08		
Diagonal	2	4	3"x3"x5/16"	9.08	8.31	603.6384		
Horizontal	2	4	3"x3"x5/16"	4.05	5.74	185.976		
Techo	2		3"x3"x3/16"	5.52	8.12	89.6448		
Escuadra	4		2.5"x2.5"x3/16"	4.05	4.08	66.096		
Cadera	4	4	2"x2"x3/16"	3.63	2.04	29.6208		
Red. Horizontal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.69	13.689		
Red. Horizontal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	1.69	13.689		
Red. Diagonal Sup	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	2.07	16.767		
Red. Diagonal Inf	2	4	2.5"x2.5"x3/16"	4.05	2.08	16.848		
								1736.049

Altura (H)	Peso Metrado (kg)	Peso Acumulado (kg)
6.00	1736.049	1736.049
12.00	1551.0626	3287.1116
18.00	1715.3685	5002.4801
24.00	1633.0326	6635.5127
30.00	1168.5211	7804.0338
36.00	673.38	8477.4138
42.00	576.7666	9054.1804
48.00	539.9681	9594.1485
50.00	218.766	9812.9145
52.00	218.766	10031.681
54.00	218.766	10250.447
56.00	218.766	10469.213
58.00	189.486	10658.699
60.00	189.486	10848.185

Tabla 11. Cálculo de pesos por Nivel de TAC – acumulado. Fuente propia.

TAC:	60
-------------	-----------

Altura	Peso (Tn)
6.00	1.74
12.00	3.29
18.00	5.00
24.00	6.64
30.00	7.80
36.00	8.48
42.00	9.05
48.00	9.59
50.00	9.81
52.00	10.03
54.00	10.25
56.00	10.47
58.00	10.66
60.00	10.85

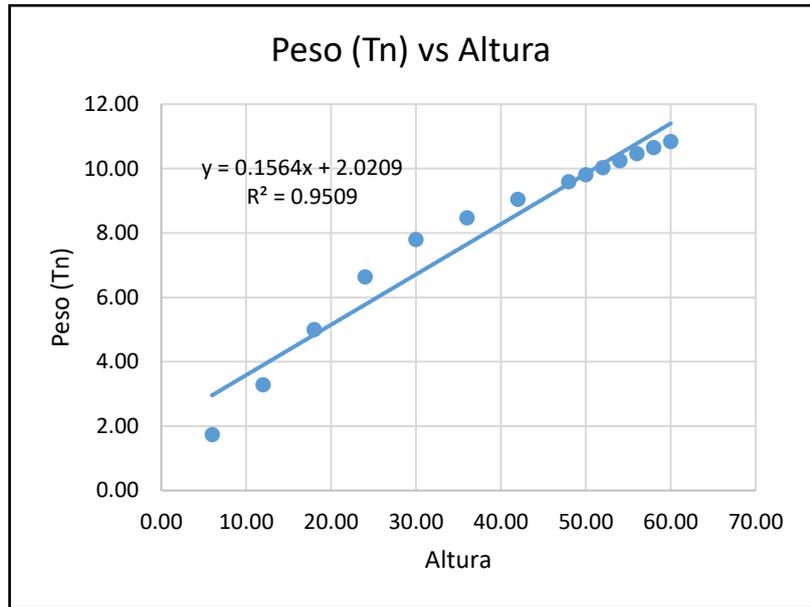


Gráfico 3. Relación de Altura vs Peso para TAC 60.00m.

Fuente propia.

5.10. Perfiles presentes en Torre Matriz – Autoportada Cuadrada 60.00m

	Cuerpo 14	Cuerpo 13	Cuerpo 12	Cuerpo 11	Cuerpo 10	Cuerpo 9	Cuerpo 8	Cuerpo 7	Cuerpo 6	Cuerpo 5	Cuerpo 4	Cuerpo 3	Cuerpo 2	Cuerpo 1
	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil							
Montante	6"x6"x1/2"	5"x5"x1/2"	4"x4"x1/2"	4"x4"x1/2"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Diagonal	3"x3"x5/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Horizontal	3"x3"x5/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Techo	3"x3"x3/16"	3"x3"x3/16"	3"x3"x3/16"	3"x3"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Escuadra	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"						
Cadera	2"x2"x3/16"													
Red. Horizontal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						

Tabla 12. Perfiles en Torre Matriz – Autoportada Cuadrada Altura 60.00m. Fuente propia.

5.11. Desplazamientos en los puntos más críticos de la torre

TAC:	54	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1969	54
67	0.1906	53.031
126	0.1778	51.03
226	0.1651	49.028
326	0.1527	47.026
426	0.1404	45.025
526	0.1286	43.024
633	0.1063	39.196
733	0.0743	33.174
833	0.0474	27.156
933	0.027	21.141
1033	0.014	15.129
1133	0.005	9.119
1233	0.0005	3.11

Tabla 13. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 54.00m. Fuente propia.

TAC:	48	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1419	48
67	0.1372	47.03
126	0.1275	45.029
226	0.118	43.027
326	0.1085	41.026
426	0.0992	39.024
526	0.0902	37.023
633	0.0731	33.191
733	0.0486	27.17
833	0.0282	21.153
933	0.0135	15.138
1033	0.0051	9.127
1133	0.0004	3.117

Tabla 14. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 48.00m. Fuente propia.

<u>TAC:</u>	42	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1304	42
67	0.1255	41.029
126	0.1154	39.027
226	0.1055	37.026
326	0.0957	35.025
426	0.0863	33.023
526	0.0771	31.022
633	0.06	27.185
733	0.0362	21.165
833	0.0175	15.149
933	0.0052	9.135
1033	0.0004	3.124

Tabla 15. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 42.00m. Fuente propia.

<u>TAC:</u>	36	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1035	36
67	0.0992	35.027
126	0.0905	33.026
226	0.0819	31.024
326	0.0736	29.023
426	0.0654	27.022
526	0.0576	25.021
633	0.0431	21.176
733	0.0233	15.158
833	0.0085	9.143
933	0.0004	3.13

Tabla 16. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 36.00m. Fuente propia.

TAC:	30	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.0648	30
67	0.0617	29.024
126	0.0553	27.023
226	0.0491	25.022
326	0.043	23.021
426	0.0372	21.02
526	0.0317	19.02
633	0.0216	15.164
733	0.0085	9.148
833	0.0008	3.134

Tabla 17. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 30.00m. Fuente propia.

TAC:	24	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.0373	24
67	0.0351	23.02
126	0.0306	21.02
226	0.0263	19.019
326	0.0221	17.018
426	0.0182	15.018
526	0.0146	13.017
633	0.008	9.143
733	0.0011	3.13

Tabla 18. Desplazamientos presentes en Nodos de TAC 24.00m. Fuente propia.

5.12. Perfiles presentes en Torres Comerciales de 48m – 24m

De los ítems anteriores y al comprobar que los desplazamientos laterales cumplen con los máximos admisibles, se tienen los perfiles para cada torre de altura comercial variable entre 48 a 24 m.

	Cuerpo 13	Cuerpo 12	Cuerpo 11	Cuerpo 10	Cuerpo 9	Cuerpo 8	Cuerpo 7	Cuerpo 6	Cuerpo 5	Cuerpo 4	Cuerpo 3	Cuerpo 2	Cuerpo 1
	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil						
Montante	5"x5"x1/2"	4"x4"x1/2"	4"x4"x1/2"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Diagonal	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Horizontal	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Techo	3"x3"x3/16"	3"x3"x3/16"	3"x3"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Escuadra	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"						
Cadera	2"x2"x3/16"												
Red. Horizontal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						

Tabla 19. Perfil propuesto para TAC 54.00m. Fuente propia.

	Cuerpo 12	Cuerpo 11	Cuerpo 10	Cuerpo 9	Cuerpo 8	Cuerpo 7	Cuerpo 6	Cuerpo 5	Cuerpo 4	Cuerpo 3	Cuerpo 2	Cuerpo 1
	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil
Montante	4"x4"x1/2"	4"x4"x1/2"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Diagonal	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Horizontal	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Techo	3"x3"x3/16"	3"x3"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Escuadra	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"						
Cadera	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						

Tabla 20. Perfil propuesto para TAC 48.00m. Fuente propia.

	Cuerpo 11	Cuerpo 10	Cuerpo 9	Cuerpo 8	Cuerpo 7	Cuerpo 6	Cuerpo 5	Cuerpo 4	Cuerpo 3	Cuerpo 2	Cuerpo 1
	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil
Montante	4"x4"x1/2"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Diagonal	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Horizontal	2.5"x2.5"x3/16"	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Techo	3"x3"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Escuadra	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"						
Cadera	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						

Tabla 21. Perfil propuesto para TAC 42.00m. Fuente propia.

	Cuerpo 10	Cuerpo 9	Cuerpo 8	Cuerpo 7	Cuerpo 6	Cuerpo 5	Cuerpo 4	Cuerpo 3	Cuerpo 2	Cuerpo 1
	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil
Montante	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Diagonal	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Horizontal	3"x3"x5/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Techo	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Escuadra	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"						
Cadera	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Sup	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Inf	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						

Tabla 22. Perfil propuesto para TAC 36.00m. Fuente propia.

	Cuerpo 9	Cuerpo 8	Cuerpo 7	Cuerpo 6	Cuerpo 5	Cuerpo 4	Cuerpo 3	Cuerpo 2	Cuerpo 1
	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil
Montante	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Diagonal	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Horizontal	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Techo	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Escuadra	2"x2"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"						
Cadera	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Sup	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Inf	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Sup	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Inf	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						

Tabla 23. Perfil propuesto para TAC 30.00m. Fuente propia.

	Cuerpo 8	Cuerpo 7	Cuerpo 6	Cuerpo 5	Cuerpo 4	Cuerpo 3	Cuerpo 2	Cuerpo 1
	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil	Perfil
Montante	4"x4"x1/4"	4"x4"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	3"x3"x1/4"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Diagonal	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Horizontal	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Techo	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"
Escuadra	2.5"x2.5"x3/16"	2.5"x2.5"x3/16"						
Cadera	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Sup	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Horizontal Inf	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Sup	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						
Red. Diagonal Inf	2"x2"x3/16"	2"x2"x3/16"						

Tabla 24. Perfil propuesto para TAC 24.00m. Fuente propia.

CAPITULO 6. RESULTADOS

6.1. Parámetros de diseño geométrico de la estandarización de Torres

De los resultados obtenidos del capítulo 5 obtenemos todos los perfiles comerciales que deben usarse en los diseños propuestos para la estandarización de torres, los cuales se encuentran dispuestos de la siguiente manera:

	TABLA	PAGINA
TAC 60.00 m	N° 12	Pag 69
TAC 54.00 m	N° 19	Pag 73
TAC 48.00 m	N° 20	Pag 74
TAC 42.00 m	N° 21	Pag 75
TAC 36.00 m	N° 22	Pag 76
TAC 30.00 m	N° 23	Pag 77
TAC 24.00 m	N° 24	Pag 78

Tabla 25. Resumen de Tablas para desplazamiento de Torres. Fuente propia.

Con esto último podemos concluir con la geometría dispuesta para cada altura de torre.

6.2. Determinación de Peso de TAC's de cualquier altura comercial

De los cálculos realizados en el ítem 4.7 para con el metrado de la TAC de 60.00 m y verificando que los desplazamientos cumplen con los máximos admisibles en la norma TIA/EIA 222F.

Al cumplir la torre matriz (TAC-60.00m) con las solicitudes de la norma TIA/EIA 222F, del párrafo anterior corroboramos que los diseños propuestos para las demás torres de altura variable

De lo cual se tienen los metrados de perfiles y pesos de las torres.

TAC:	60
Altura	Peso (Tn)
6.00	1.74
12.00	3.29
18.00	5.00
24.00	6.64
30.00	7.80
36.00	8.48
42.00	9.05
48.00	9.59
50.00	9.81
52.00	10.03
54.00	10.25
56.00	10.47
58.00	10.66
60.00	10.85

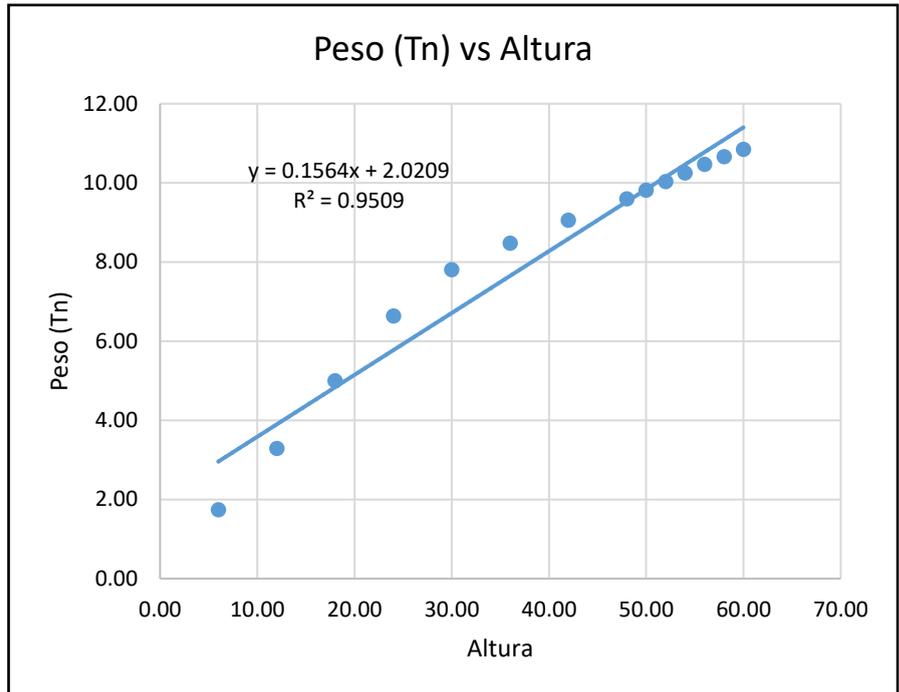


Tabla 26. Relación de Altura vs Peso para TAC 60.00m. Fuente propia.

TAC:	54
Altura	Peso (Tn)
6.00	1.55
12.00	3.27
18.00	4.90
24.00	6.07
30.00	6.74
36.00	7.32
42.00	7.86
44.00	8.08
46.00	8.30
48.00	8.51
50.00	8.73
52.00	8.92
54.00	9.11

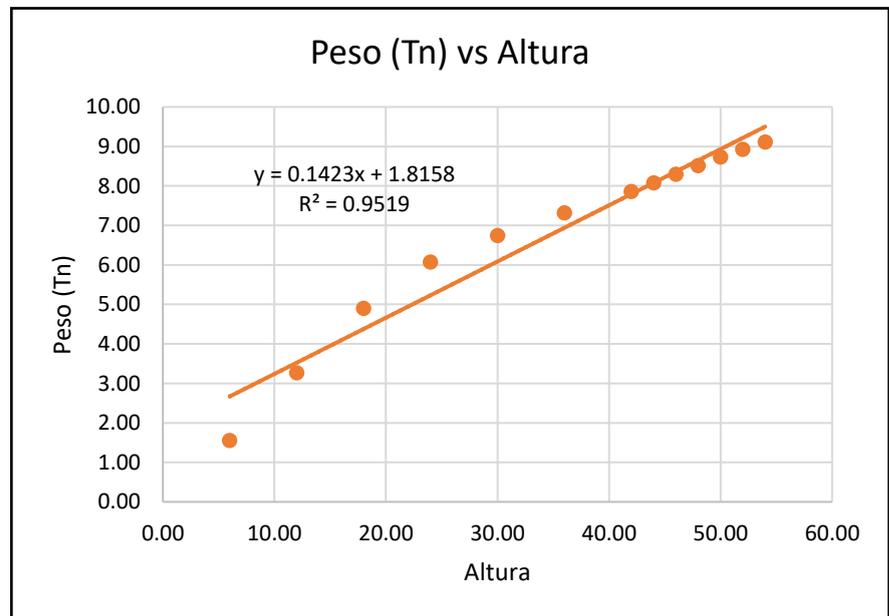


Tabla 27. Relación de Altura vs Peso para TAC 54.00m. Fuente propia.

TAC:	48
Altura	Peso (Tn)
6.00	1.72
12.00	3.35
18.00	4.52
24.00	5.19
30.00	5.77
36.00	6.31
38.00	6.53
40.00	6.74
42.00	6.96
44.00	7.18
46.00	7.37
48.00	7.56

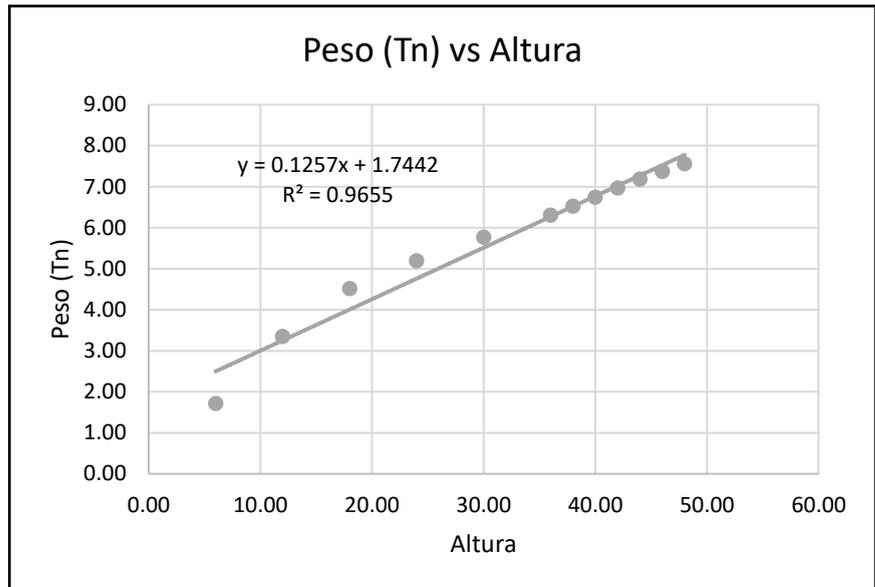


Tabla 28. Relación de Altura vs Peso para TAC 48.00m. Fuente propia.

TAC:	42
Altura	Peso (Tn)
6.00	1.63
12.00	2.80
18.00	3.47
24.00	4.05
30.00	4.59
32.00	4.81
34.00	5.03
36.00	5.25
38.00	5.47
40.00	5.66
42.00	5.85

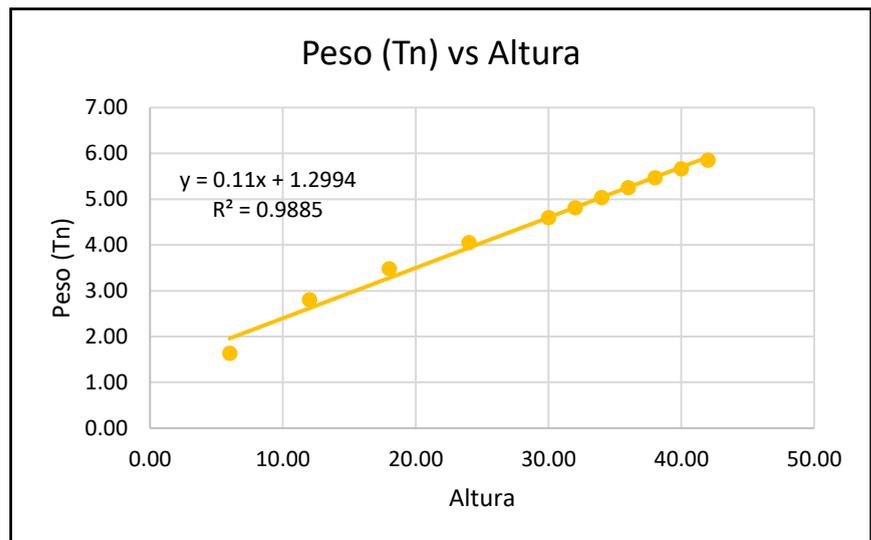


Tabla 29. Relación de Altura vs Peso para TAC 42.00m. Fuente propia.

TAC:	36
Altura	Peso (Tn)
6.00	1.17
12.00	1.84
18.00	2.42
24.00	2.96
26.00	3.18
28.00	3.40
30.00	3.61
32.00	3.83
34.00	4.02
36.00	4.21

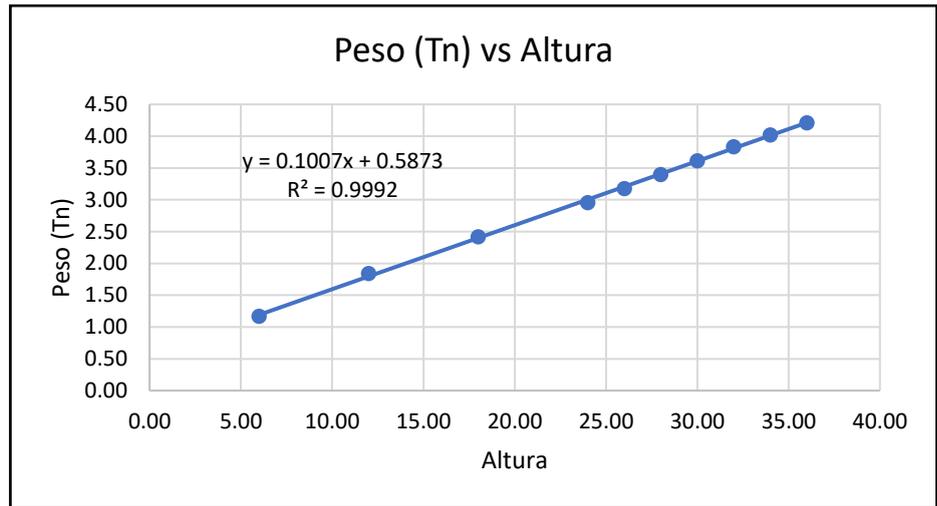


Tabla 30. Relación de Altura vs Peso para TAC 36.00m. Fuente propia.

TAC:	30
Altura	Peso (Tn)
6.00	0.67
12.00	1.25
18.00	1.79
20.00	2.01
22.00	2.23
24.00	2.45
26.00	2.67
28.00	2.85
30.00	3.04

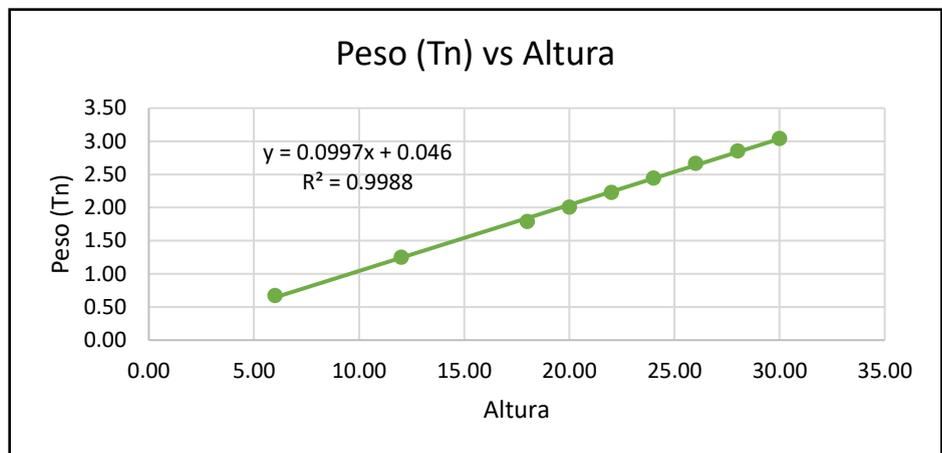


Tabla 31. Relación de Altura vs Peso para TAC 30.00m. Fuente propia.

TAC:	24
Altura	Peso (Tn)
6.00	0.58
12.00	1.12
14.00	1.34
16.00	1.55
18.00	1.77
20.00	1.99
22.00	2.18
24.00	2.37

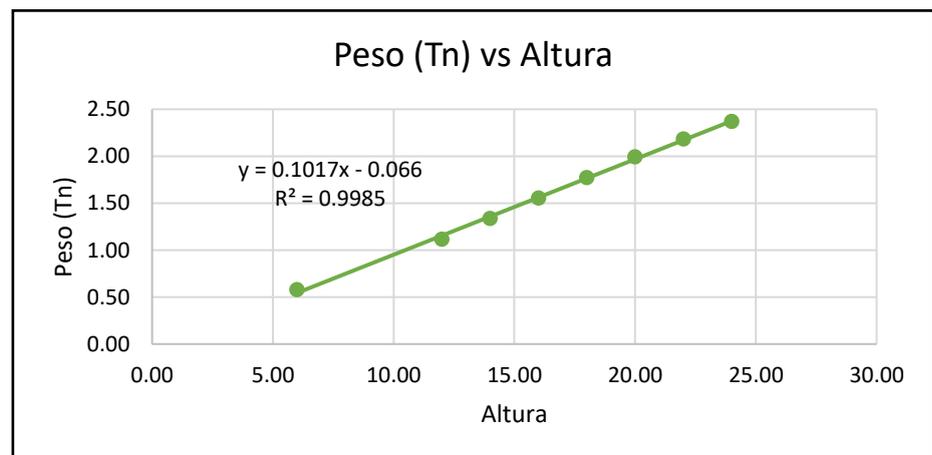


Tabla 32. Relación de Altura vs Peso para TAC 24.00m. Fuente propia.

6.3. Determinación de Desplazamientos de TAC's de cualquier altura comercial

De los cálculos realizados en el ítem 4.6 para con la determinación los desplazamientos de la TAC de 60.00 m y verificando que los desplazamientos cumplen con los máximos admisibles en la norma TIA/EIA 222F.

Al cumplir la torre matriz (TAC-60.00m) con las solicitudes de la norma TIA/EIA 222F, del párrafo anterior corroboramos que los diseños propuestos para las demás torres de altura variable

TAC:	60	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.2296	60
67	0.2228	59.032
126	0.2088	57.03
226	0.195	55.029
326	0.1814	53.027
426	0.168	51.026
526	0.155	49.024
633	0.1306	45.2
733	0.0952	39.176
833	0.0649	33.158
933	0.0412	27.143
1033	0.0248	21.13
1133	0.0125	15.12
1233	0.0047	9.111
1333	0.0005	3.103

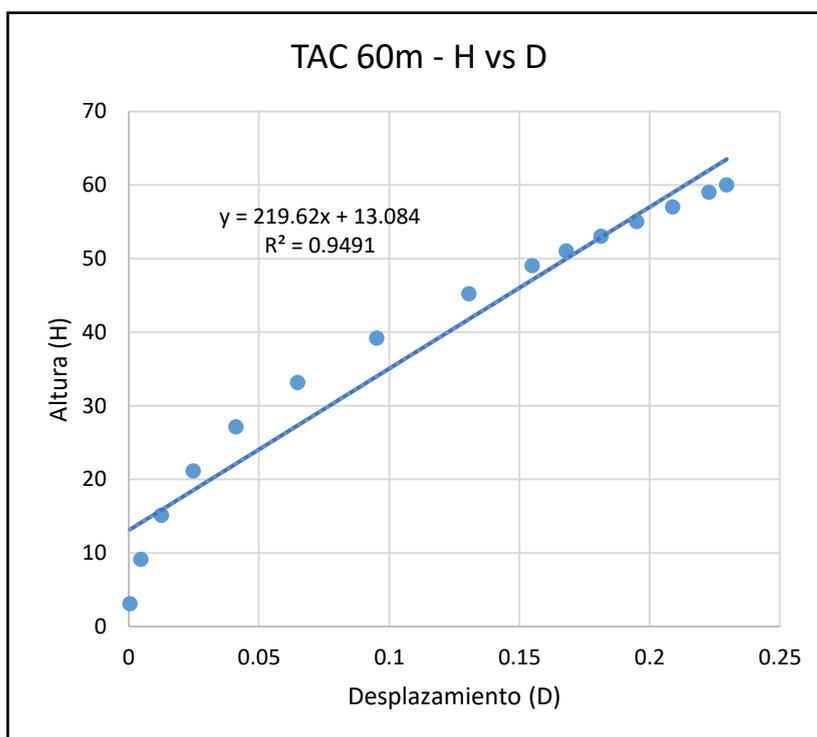


Tabla 33. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 60.00m.
Fuente propia.

TAC:	54	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1969	54
67	0.1906	53.031
126	0.1778	51.03
226	0.1651	49.028
326	0.1527	47.026
426	0.1404	45.025
526	0.1286	43.024
633	0.1063	39.196
733	0.0743	33.174
833	0.0474	27.156
933	0.027	21.141
1033	0.014	15.129
1133	0.005	9.119
1233	0.0005	3.11

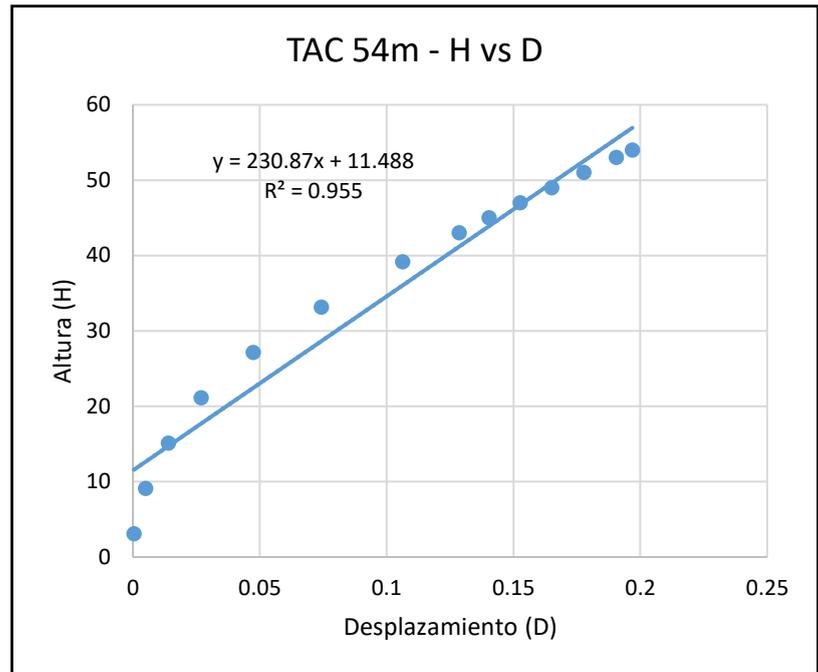


Tabla 34. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 54.00m. Fuente propia.

TAC:	48	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1419	48
67	0.1372	47.03
126	0.1275	45.029
226	0.118	43.027
326	0.1085	41.026
426	0.0992	39.024
526	0.0902	37.023
633	0.0731	33.191
733	0.0486	27.17
833	0.0282	21.153
933	0.0135	15.138
1033	0.0051	9.127
1133	0.0004	3.117

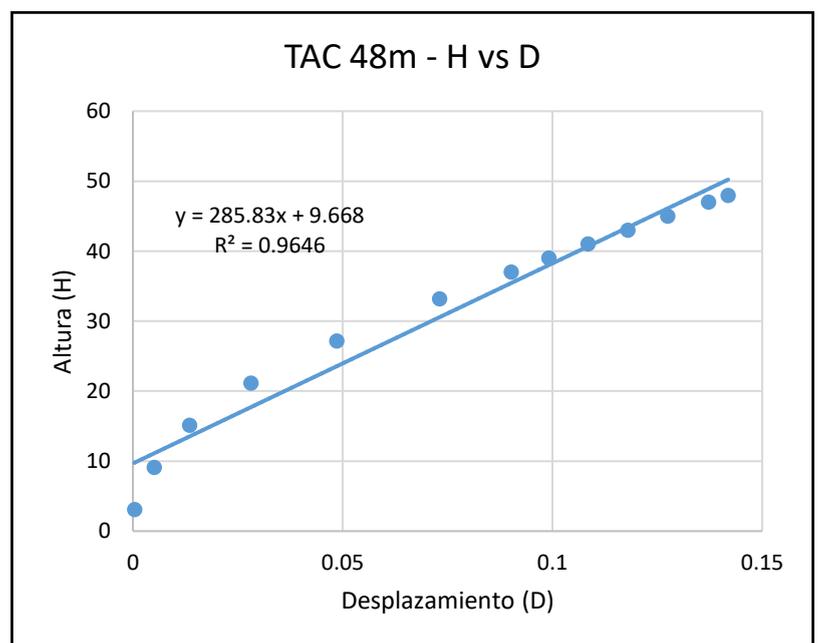


Tabla 35. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 48.00m. Fuente propia.

TAC:	42	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1304	42
67	0.1255	41.029
126	0.1154	39.027
226	0.1055	37.026
326	0.0957	35.025
426	0.0863	33.023
526	0.0771	31.022
633	0.06	27.185
733	0.0362	21.165
833	0.0175	15.149
933	0.0052	9.135
1033	0.0004	3.124

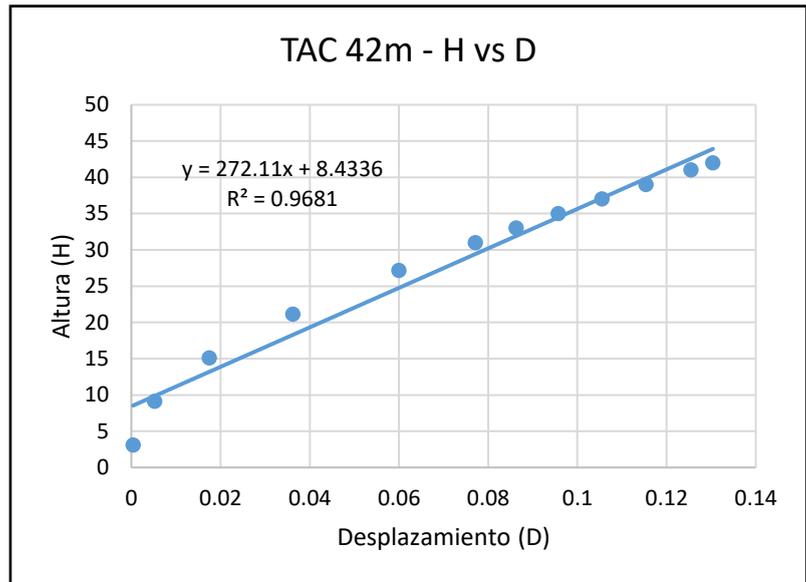


Tabla 36. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 42.00m. Fuente propia.

TAC:	36	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.1035	36
67	0.0992	35.027
126	0.0905	33.026
226	0.0819	31.024
326	0.0736	29.023
426	0.0654	27.022
526	0.0576	25.021
633	0.0431	21.176
733	0.0233	15.158
833	0.0085	9.143
933	0.0004	3.13

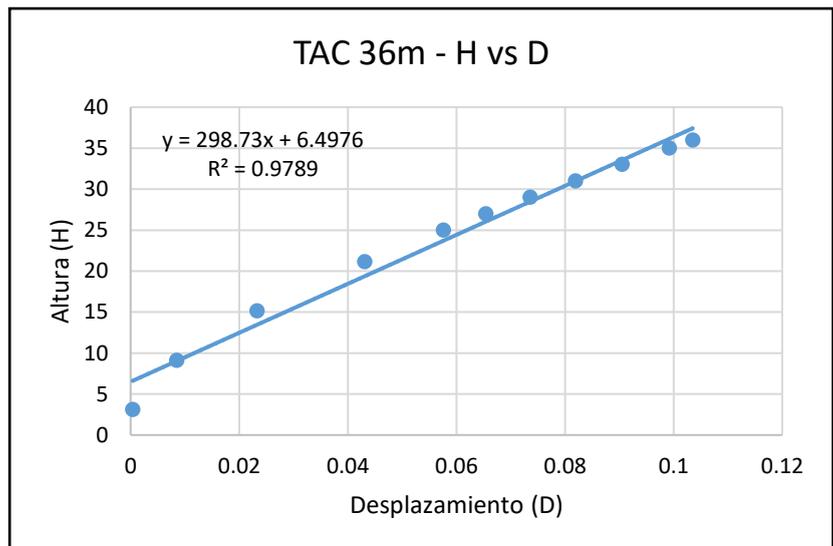


Tabla 37. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 36.00m. Fuente propia.

TAC:	30	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.0648	30
67	0.0617	29.024
126	0.0553	27.023
226	0.0491	25.022
326	0.043	23.021
426	0.0372	21.02
526	0.0317	19.02
633	0.0216	15.164
733	0.0085	9.148
833	0.0008	3.134

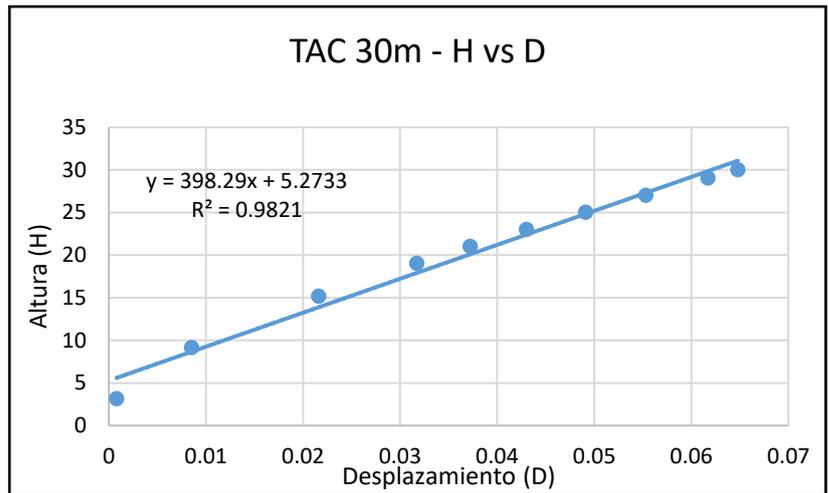


Tabla 38. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 30.00m.
Fuente propia.

TAC:	24	m
Nodo	Desplazamiento	Altura
24	0.0373	24
67	0.0351	23.02
126	0.0306	21.02
226	0.0263	19.019
326	0.0221	17.018
426	0.0182	15.018
526	0.0146	13.017
633	0.008	9.143
733	0.0011	3.13

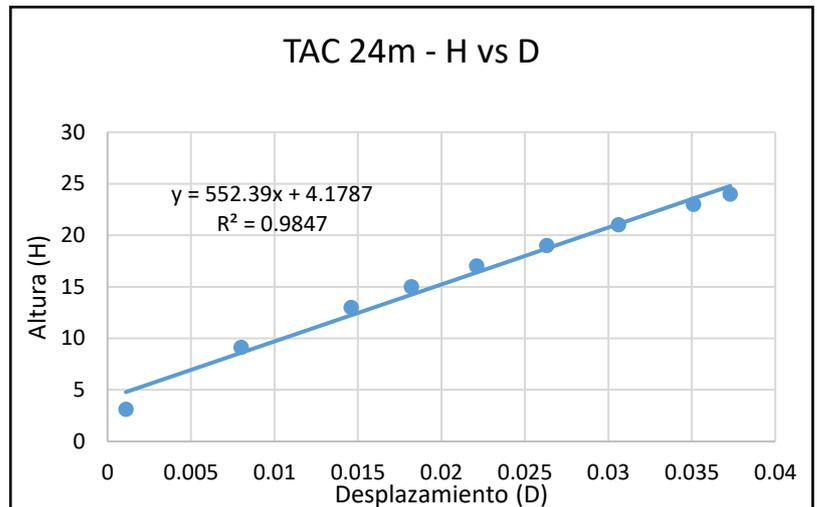


Tabla 39. Relación de Altura vs Desplazamiento para TAC 24.00m.
Fuente propia.

6.4. Determinación del Costo Aproximado de Fabricación de TAC de altura comercial

Del ítem 5.1, para la determinación de pesos de TAC de alturas variables entre 60 – 24 m podemos realizar el cálculo del costo aproximado de fabricación de éstas estructuras la cual es S/ 12.00 el kg.

Entonces se tendría:

TAC:			
Altura	Peso (kg)	Costo por kg	Precio Parcial
60.00	10850	S/. 12.00	S/. 130 200.00
54.00	9110	S/. 12.00	S/. 109 320.00
48.00	7560	S/. 12.00	S/. 90 720.00
42.00	5850	S/. 12.00	S/. 70 200.00
36.00	4210	S/. 12.00	S/. 50 520.00
30.00	3040	S/. 12.00	S/. 36 480.00
24.00	2370	S/. 12.00	S/ 28 440.00

Tabla 40. Costo de Fabricación para TAC entre 60 – 24 m. Fuente propia.

Estos precios serán entregados a los clientes en función al AEV solicitada, la cual consiste en 2 antenas RF y 2 antenas microondas de 1.20m.

De la tabla N°36 tenemos los costos aproximados de suministros a ser presentados y tomados en cuenta en un futuro a los clientes designados que podamos tener.

CAPITULO 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Como punto de partida para establecer una crítica a los resultados obtenidos, tenemos que decir que no existen tesis que contengan un estudio parecido, por lo que los parámetros en los cuales nos podemos basar son meramente empíricos, o por ingenieros que se encuentran en el medio realizando estos tipos de estudios.
- Del análisis realizado para el diseño de torres se tienen los perfiles que se deberían utilizar para que el diseño sea económicamente factible de realizar y que además éste cumpla con los parámetros de la norma.
- En todos los casos se tienen resultados favorables al aplicar nuestro procedimiento descrito, sin embargo, debemos recalcar que éste estudio es para las torres que cuenten la misma AEV, es decir dos antenas RF Huawei 12 ports y dos antenas MW Ø 1.20m.
- Al no contar con bibliografía que describa el procedimiento para poder contrastar nuestros resultados con un estudio podemos concluir que los resultados se aceptan; además de eso se debe tener en cuenta que nosotros hemos adoptado el procedimiento que se utiliza en el sector Telecomunicaciones para presentar las respectivas Evaluaciones Estructurales de las torres.
- Para los criterios de conformación estructural que se emplean durante el desarrollo de la tesis, han sido criterios empíricos que hemos podido hacerlos tangibles gracias a la experiencia de Ingenieros especialistas en el rubro, estos criterios son:
 - Relación Ancho – Base de torre
 - Dimensionamiento de Tramos de TAC
 - Metrado de Cargas de TAC
 - Cálculo del perfil base

- Para los desplazamientos máximos, se puede establecer una relación proporcional directa, a mayor altura, mayor es el desplazamiento producto de la Fuerza por acción del viento y darlos como válidos al ser menores al máximo.
- Para la determinación de costos no hay parámetros específicos para determinar que el costo sea el más óptimo, sin embargo, se han utilizado los perfiles menos pesados; para esto compararemos el costo con el precio que los operadores ofertan para esto, para este caso Entel.

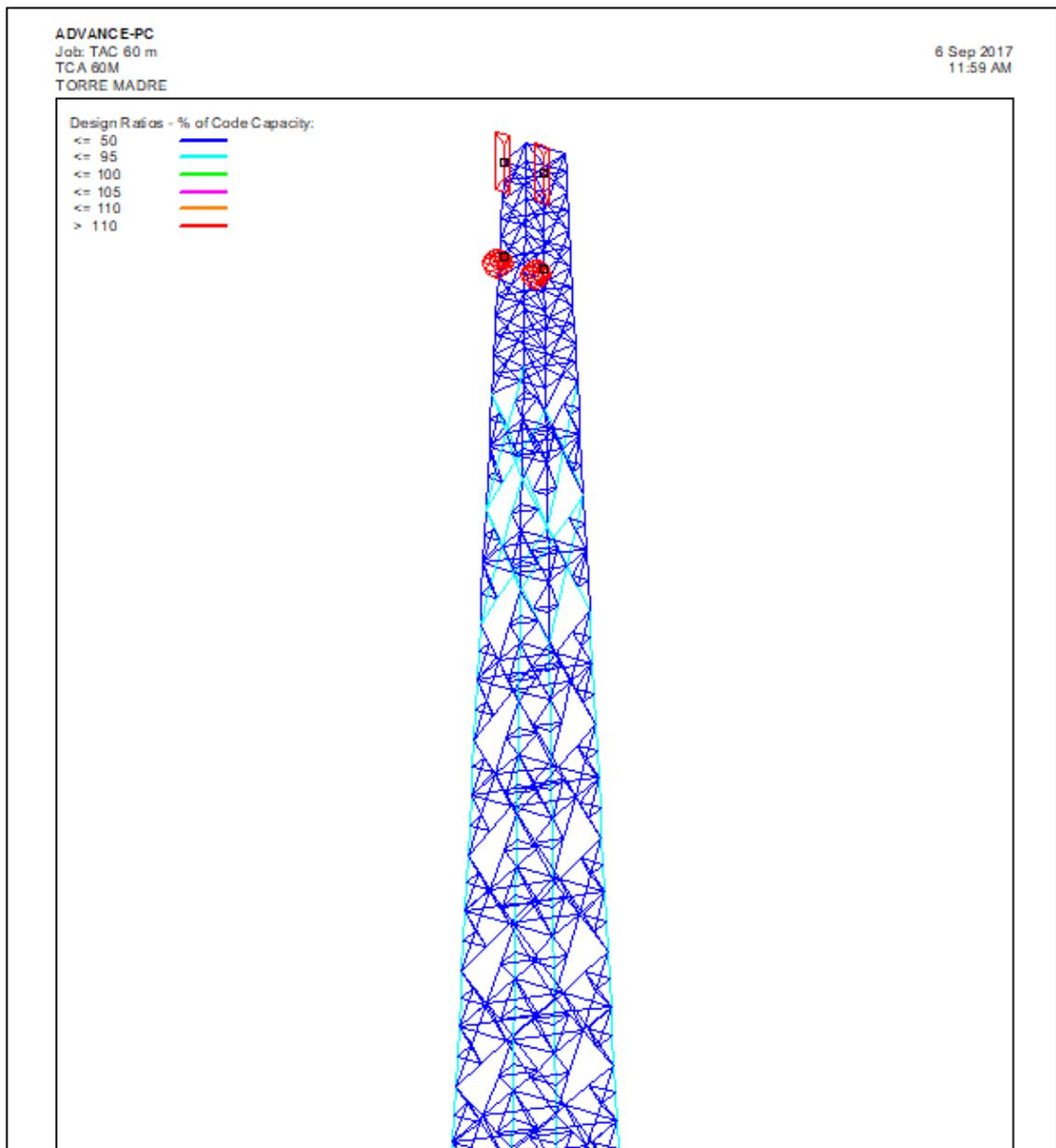
TAC:		Entel	
Altura	Costo Propuesto	Precio Operador	Rentabilidad
60.00	S/. 130 200.00	S/. 201 230.36	100.00 %
54.00	S/. 109 320.00	S/. 172 586.59	36.62 %
48.00	S/. 90 720.00	S/. 141 522.99	35.90 %
42.00	S/. 70 200.00	S/. 94 702.91	25.88 %
36.00	S/. 50 520.00	S/. 79 091.89	36.16 %
30.00	S/. 36 480.00	S/. 62 075.32	41.24 %
24.00	S/ 28 440.00	S/. 48 857.25	41.79 %

- Para finalizar hay que tomar en cuenta es que nuestros diseños son válidos al ser económicamente sostenibles (generan rentabilidad), por lo que podemos también concluir que los diseños son válidos.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES

- Luego de haber realizado los cálculos para la determinación del diseño, podemos concluir en base a los resultados obtenidos lo siguiente en base a los objetivos específicos:

1. La relación base – altura de torre es la óptima al tener los desplazamientos admisibles y las ratios menores al 100%.



Los resultados obtenidos, los validamos con los obtenidos en el programa MS Tower, al tener su propio código de colores para las ratios de diseño.

2. El perfil base escogido si bien es cierto no es el que resiste la carga señalada, cumplió satisfactoriamente al momento de comprobar las solicitudes de la norma.

Verificación en Tabla ϕcPn		11776.14	kg	Comentario
Donde toma el valor de ϕc : 0.90		115484.63	Kg-f	
		254.07	Kip	Entrar a la Tabla con este Valor
	L6x6x1/2	188.00	Kip	No Cumple - Perfil Teórico Comercial
	L6x6x3/4	274.00	Kip	Cumple - Perfil Teórico - Perfil Traído del Extranjero

3. Los perfiles son los más adecuados, al ser los menos pesados.

TAC:		Entel
Altura	Costo Propuesto	Precio Operador
60.00	S/. 130 200.00	S/. 201 230.36
54.00	S/. 109 320.00	S/. 172 586.59
48.00	S/. 90 720.00	S/. 141 522.99
42.00	S/. 70 200.00	S/. 94 702.91
36.00	S/. 50 520.00	S/. 79 091.89
30.00	S/. 36 480.00	S/. 62 075.32
24.00	S/ 28 440.00	S/. 48 857.25

Los resultados obtenidos, los validamos con los precios que el Operador Entel, paga por el servicio de fabricación de TAC.

4. Al tener los desplazamientos más cercanos al máximo permisible, las ratios de estructuras disminuyen se alejan del 100%.

5. De los metrados de cargas el factor que más predomina es el peso propio de la estructura.

METRADO DE CARGAS EN TORRE A PROYECTAR p/ PRE DIMENSIONAMIENTO - TORRE MATRIZ 60m				
Item		Cantidad	Peso (Kg)	Parcial (Kg)
Cargas Existentes Permanentes (D)				
1.00	Antena Microondas diametro Ø 1.20 + Soporte	02	60	120
2.00	Antena Radio Frecuencia + Soporte	02	25	50
3.00	Peso Propio de la Torre (Montantes, Diagonales, Horizontales, Redundantes) - Teórico	01	12714.6	12714.6
Cargas Eventuales - De uso y/o Mantenimiento (L)				
4.00	Peso de Técnicos de Mantenimiento	02	90	180
5.00	Peso de Herramientas	01	20	20
			Total	13084.6

Podemos tener que el peso más incidente es el de 12714.6 kg, que representa el peso propio de la torre.

6. La fuerza del viento, que afecta directamente los desplazamientos de la torre está directamente relacionada con el AEV, mientras mayor área exista mayor será la fuerza de impacto.

$$F = q_z * A_i$$

$$\frac{Kg \cdot m}{s^2} = \frac{kg}{m * s^2} * m^2$$

Donde:

- F: Fuerza de Viento
- q_z: Presión de Velocidad
- A_i: Área de Impacto - AEV

Como la presión de velocidad, es un valor constante, el valor variable es el de AEV, concluimos que a mayor área (antenas

más grandes), mayor es la fuerza de impacto del viento y mayores son los desplazamientos.

7. El diseño de la torre matriz fue el que más cercano estuvo a la perfección en cuanto a ratios y desplazamientos, con esto podemos concluir que podríamos realizar la estandarización para torres desde 120m – 24m y el error sería mayor para las torres con menor altura.
- Podemos además indicar que el software MS Tower, que es el especializado para la determinación del diseño fue la herramienta más útil para la elección de perfiles por tanteo.
 - Al tener calculado los pesos de la torre y los costos comparados con un operador (Entel) y el precio real, concluimos que nuestra propuesta es muy rentable; sobre todo en la torre que más cercana estuvo a los desplazamientos y ratios; con una rentabilidad del 100%, que es el fin último del estudio.

<u>TAC:</u>		Entel	
Altura	Costo Propuesto	Precio Operador	Rentabilidad
60.00	S/. 130 200.00	S/. 201 230.36	100.00 %
54.00	S/. 109 320.00	S/. 172 586.59	36.62 %
48.00	S/. 90 720.00	S/. 141 522.99	35.90 %
42.00	S/. 70 200.00	S/. 94 702.91	25.88 %
36.00	S/. 50 520.00	S/. 79 091.89	36.16 %
30.00	S/. 36 480.00	S/. 62 075.32	41.24 %
24.00	S/ 28 440.00	S/. 48 857.25	41.79 %

CAPITULO 9. RECOMENDACIONES

1. Para la determinación de perfiles de la estandarización se tiene que primero realizar el cálculo de perfil base para la torre matriz y luego realizar iteraciones o tanteos hasta llegar al fallo de la estructura.
2. Para el ingreso de parámetros en el software MS Tower debemos de leer el manual en inglés, ya que el traducido al español trae errores de traducción o interpretación que podemos plasmar como error en la corrida.
3. La conformación estructural de la torre utilizada contiene escuadras para que la estructura sea más rígida, pero para poderla ingresar en el programa debemos digitarla como un UDP, con esto vemos reducido en gran magnitud los desplazamientos y ratios de estructuras.
4. Para el galvanizado de la torre, debemos tener en cuenta que no podemos realizar este proceso en cualquier planta si no una que cuente con el ISO específico y la certificación autorizada para evitar problemas con la recepción de obra.

BIBLIOGRAFÍA

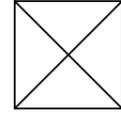
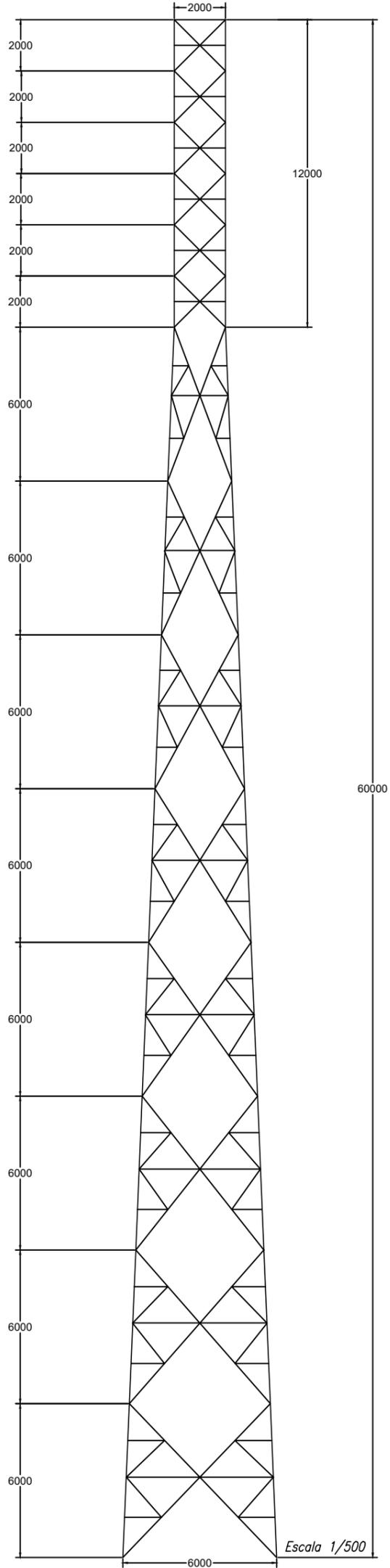
- ANSI/EIA (2006) Normas Estructurales para Torres y Estructuras de Acero para Antenas ANSI/EIA-222-F.
- Ministerios de vivienda, construcción y saneamiento, y SENCICO. (2016). La Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Ministerios de vivienda, construcción y saneamiento, y SENCICO. (2006), Norma E.020 “Cargas”
- Ministerios de vivienda, construcción y saneamiento, y SENCICO. (2006), Norma E.090 “Estructuras Metálicas”
- McCormac, Jack C. y Csernak, Stephen F. (2012) Diseño de Estructuras de Acero.londres
- Engineering Systems, (2008). “MStower V6 User’s manual”
- Made torres. (2015). “Torres para telecomunicaciones”.
- AISC (2014). “Steel Construction Manual”

ANEXOS

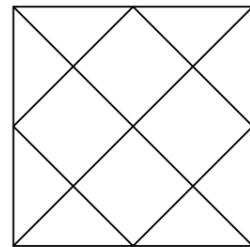
**A. PLANOS ESTRUCTURALES DE TORRES AUTOSOPORTADAS
CUADRADAS DE 60 m, 54 m ,48 m, 42 m, 36 m, 30 m y 24 m.**

PANEL Nº	PANEL 01	PANEL 02	PANEL 03	PANEL 04	PANEL 05	PANEL 06	PANEL 07	PANEL 08	PANEL 09	PANEL 10	PANEL 11	PANEL 12	PANEL 13	PANEL 14	PANEL Nº
	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X3/16"	L3X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L4X3/8"	L4X1/4"	L4X1/4"	L4X1/2"	L4X1/2"	L4X1/2"	L5X1/2"	L6X1/2"	MONTANTE
	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L3X5/16"	L3X5/16"	L3X5/16"	L3X5/16"	L3X5/16"	DIAGONAL
	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	HORIZONTAL
							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2.5X3/16"	L3X5/16"	L3X5/16"	REDUNANTE DIAGONAL
							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L3X5/16"	L3X5/16"	REDUNANTE HORIZONTAL
							L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L3X1/4"	L3X5/16"	L3X5/16"	TECHOS
							L2.5X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L3X1/4"	L3X5/16"	L3X5/16"	ESCUADRA

CUADRO DE PERFILES



TECHO TIPICO
TRAMO RECTO



TECHO TIPICO
TRAMO INCLINADO

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

AUTORES:

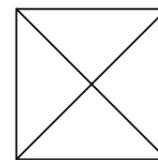
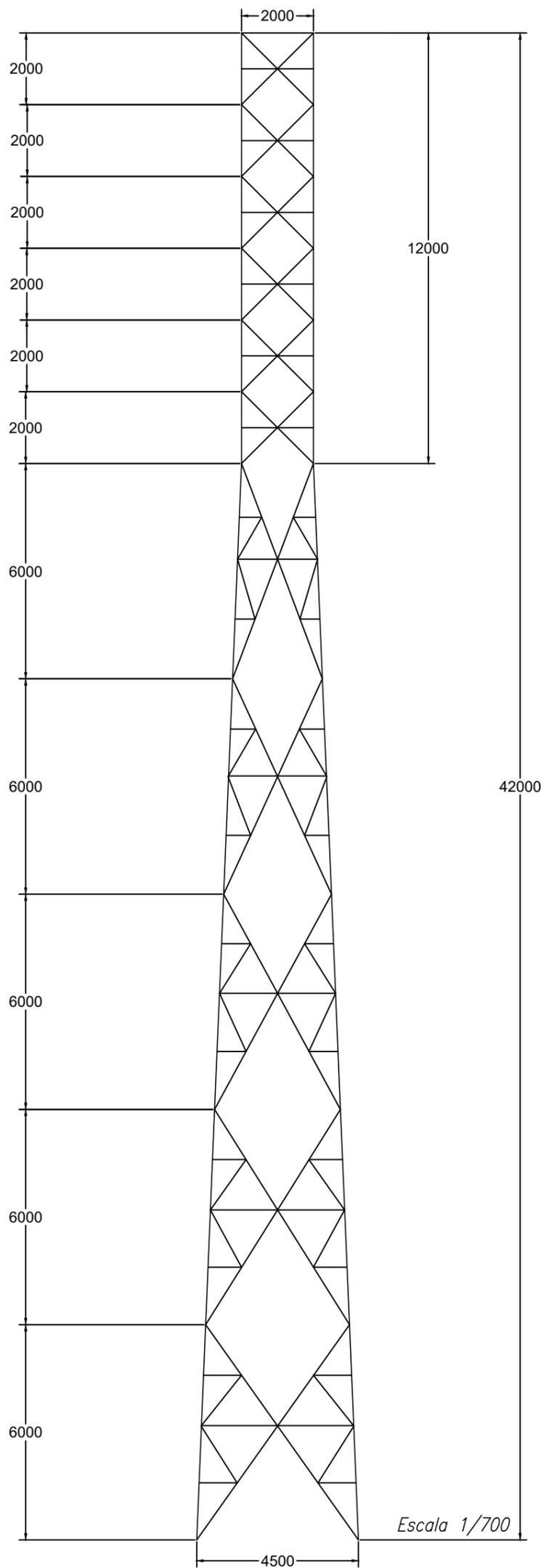
JEAN MEJIA
KAROL REATEGUI

DISEÑO:

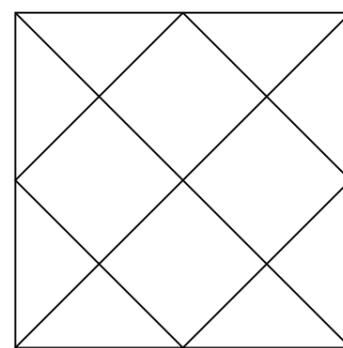
TORRE AUTOSOPORTADA
CUADRADA DE 60 m

PANEL Nº	PANEL 01	PANEL 02	PANEL 03	PANEL 04	PANEL 05	PANEL 06	PANEL 07	PANEL 08	PANEL 09	PANEL 10	PANEL 11	PANEL Nº
MONTANTE	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X3/16"	L3X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L4X3/8"	L4X1/4"	L4X1/4"	L4X1/2"	L4X1/2"	
DIAGONAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L3X5/16"	L3X5/16"	
HORIZONTAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L3X5/16"	L3X5/16"	
REDUNDANTE DIAGONAL							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	
REDUNDANTE HORIZONTAL							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	
TECHOS	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	
ESCUADRA							L2.5X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	

CUADRO DE PERFILES



TECHO TIPICO
TRAMO RECTO



TECHO TIPICO
TRAMO INCLINADO

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

AUTORES:

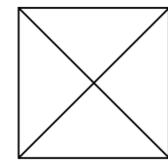
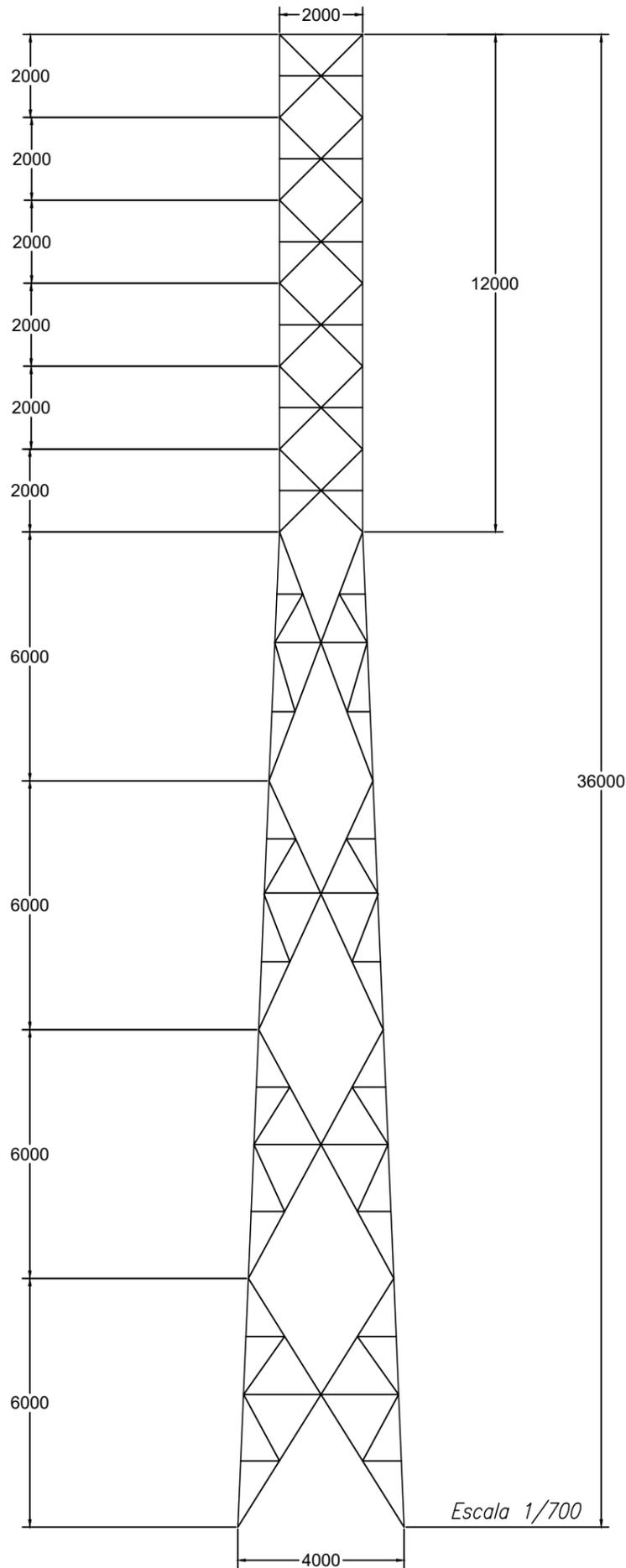
JEAN MEJIA
KAROL REATEGUI

DISEÑO:

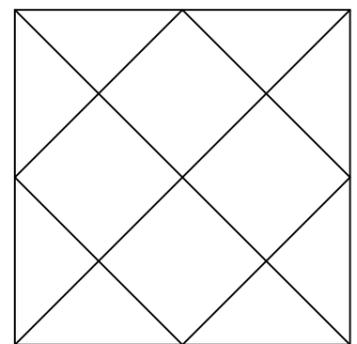
TORRE AUTOSOPORTADA
CUADRADA DE 42 m

PANEL N°	PANEL 01	PANEL 02	PANEL 03	PANEL 04	PANEL 05	PANEL 06	PANEL 07	PANEL 08	PANEL 09	PANEL 10
MONTANTE	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X3/16"	L3X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L4X3/8"	L4X1/4"	L4X1/4"	L4X1/2"
DIAGONAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L3X5/16"
HORIZONTAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L3X5/16"
REDUNDANTE DIAGONAL							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"
REDUNDANTE HORIZONTAL							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"
TECHOS	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X1/4"
ESCUADRA							L2.5X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L3X1/4"

CUADRO DE PERFILES



TECHO TIPICO
TRAMO RECTO

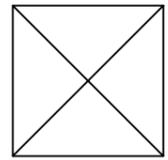
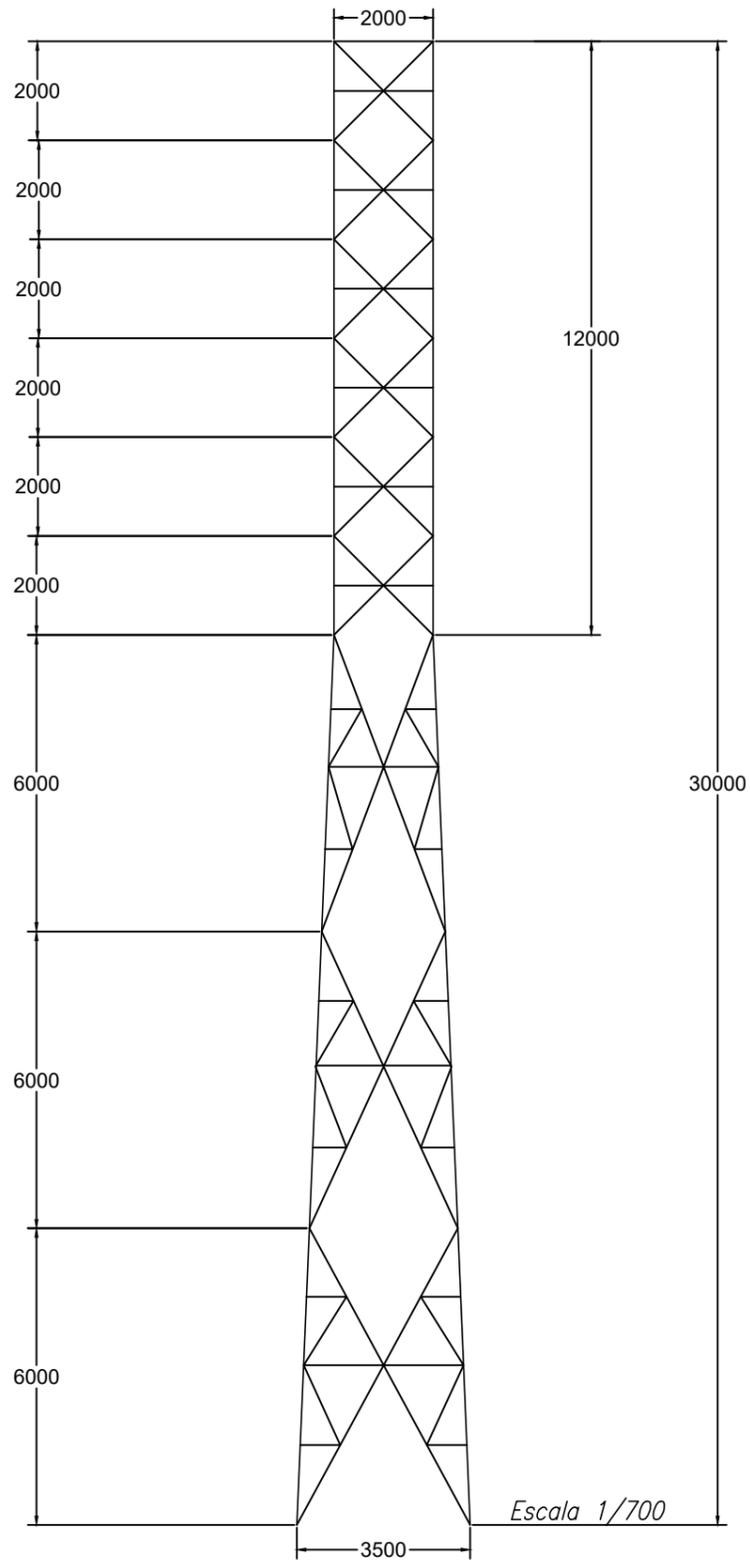


TECHO TIPICO
TRAMO INCLINADO

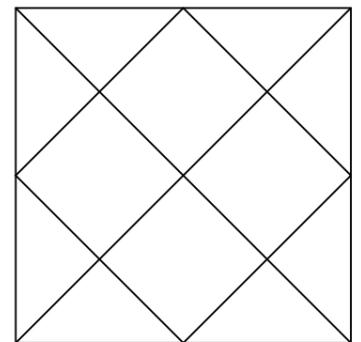
UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
AUTORES: JEAN MEJIA KAROL REATEGUI
DISEÑO: TORRE AUTOSOPORTADA CUADRADA DE 36 m

PANEL N°	PANEL 01	PANEL 02	PANEL 03	PANEL 04	PANEL 05	PANEL 06	PANEL 07	PANEL 08	PANEL 09
MONTANTE	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X3/16"	L3X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L4X3/8"	L4X1/4"	L4X1/4"
DIAGONAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"
HORIZONTAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"
REDUNDANTE DIAGONAL							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"
REDUNDANTE HORIZONTAL							L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"
TECHOS	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"
ESCUADRA							L2.5X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"

CUADRO DE PERFILES



TECHO TIPICO
TRAMO RECTO



TECHO TIPICO
TRAMO INCLINADO

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

AUTORES:

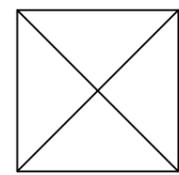
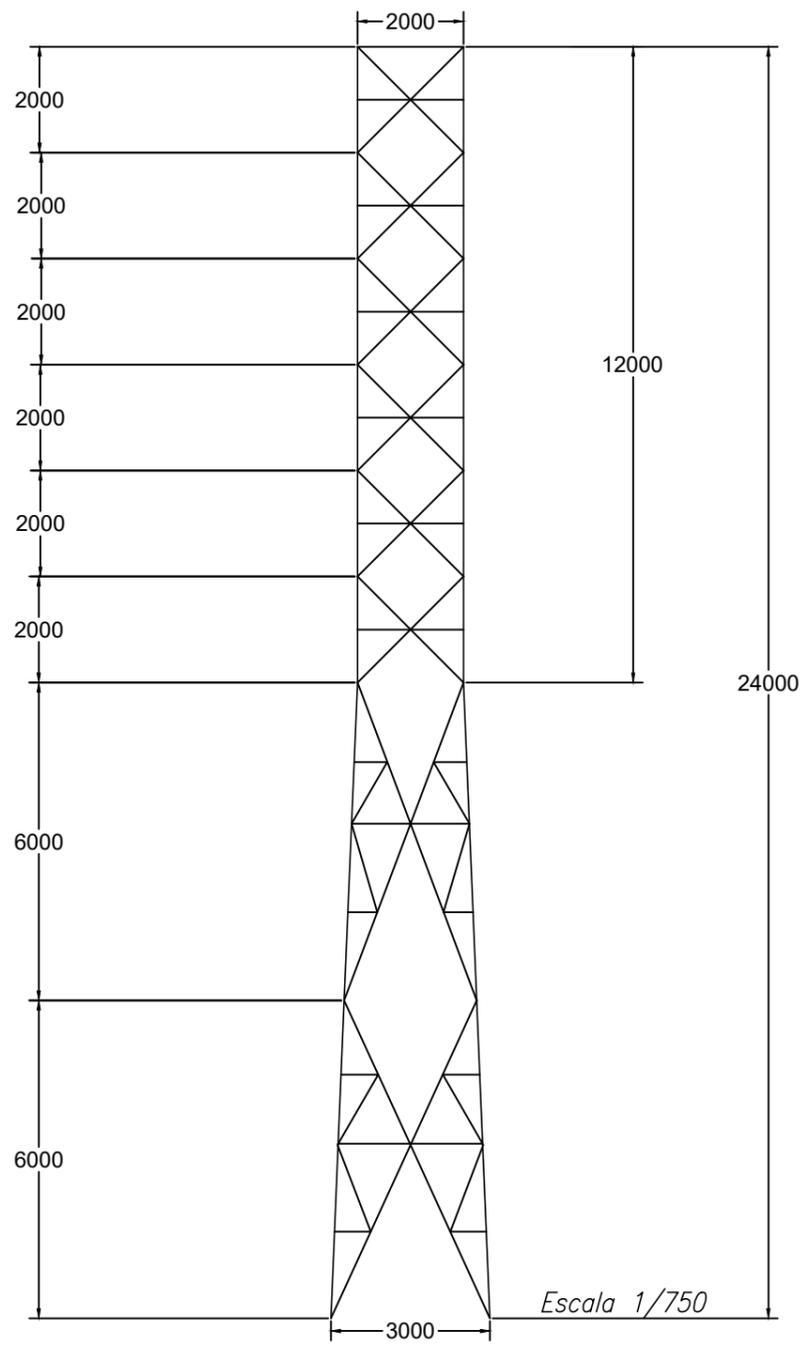
JEAN MEJIA
KAROL REATEGUI

DISEÑO:

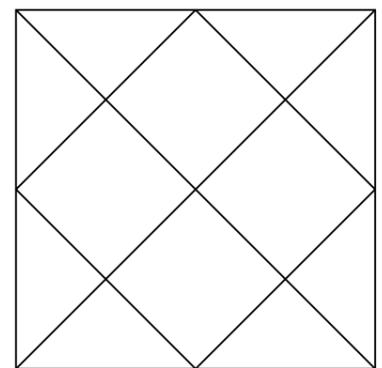
TORRE AUTOSOPORTADA
CUADRADA DE 30 m

PANEL N°	PANEL 01	PANEL 02	PANEL 03	PANEL 04	PANEL 05	PANEL 06	PANEL 07	PANEL 08
MONTANTE	L2X3/16"	L2X3/16"	L3X3/16"	L3X3/16"	L3X1/4"	L3X1/4"	L4X3/8"	L4X1/4"
DIAGONAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"
HORIZONTAL	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"
REDUNDANTE DIAGONAL							L2X3/16"	L2X3/16"
REDUNDANTE HORIZONTAL							L2X3/16"	L2X3/16"
TECHOS	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2X3/16"	L2.5X3/16"	L2X3/16"
ESCUADRA							L2.5X3/16"	L2.5X3/16"

CUADRO DE PERFILES



TECHO TIPICO
TRAMO RECTO



TECHO TIPICO
TRAMO INCLINADO

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
AUTORES: JEAN MEJIA KAROL REATEGUI
DISEÑO: TORRE AUTOSOPORTADA CUADRADA DE 24 m