



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE
SOPORTE PARA ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA CELULAR**

Eddy Alfredo Boj Guare

Asesorado por el Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma

Guatemala, marzo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE
SOPORTE PARA ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA CELULAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDDY ALFREDO BOJ GUARE

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANIBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Victor Eduardo Izquierdo Palacios
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE SOPORTE PARA ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA CELULAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 3 de mayo de 2011.



Eddy Alfredo Boj Guare



Guatemala, 31 de octubre de 2012
REF.EPS.DOC.1446.10.12.

Inga. Sigrid Alitza Calderón de León De de León
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Calderón de León De de León.

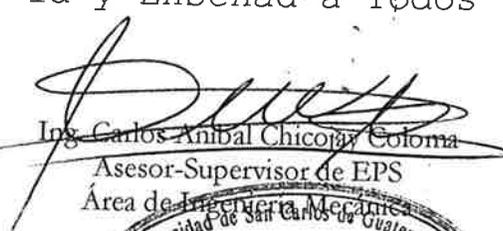
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Eddy Alfredo Boj Guaré** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 9230802, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE SOPORTE PARA ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA CELULAR"**.

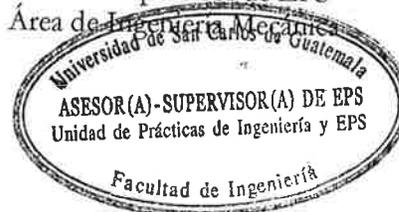
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicoj Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica



c.c. Archivo
CACC/ra



Guatemala, 31 de octubre de 2012
REF.EPS.D.911.10.2012

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE SOPORTE PARA ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA CELULAR"** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Eddy Alfredo Boj Guaré** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Sigris Alitza Calderón de León
Directora Unidad de EPS



DIRECCIÓN
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

SACde LDdL/ra

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la Directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación titulado **METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE SOPORTE PARA ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA CELULAR**, del estudiante **Eddy Alfredo Boj Guare**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio', written over a horizontal line.

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, noviembre de 2012

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE SOPORTE PARA ANTENAS DE TELECOMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA CELULAR**, presentado por el estudiante universitario: **Eddy Alfredo Boj Guare**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, marzo de 2013

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la fuente de fortaleza en las adversidades y guiarme en mis emprendimientos.
- Mi madre** Magdalena Alcira Guare Carrillo. Por sus enseñanzas y apoyo.
- Mis hijos** Yan Carlos y Carla Mariela. Por ser la razón para seguir superándome día a día.

AGRADECIMIENTOS A:

**Ingeniero Carlos Anibal
Chicojay Coloma**

Por su ayuda continua, por su tiempo y sus
consejos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Generalidades de la empresa Telefónica Móviles Guatemala	1
1.2. Actividades.....	2
1.3. Visión y Misión	2
1.4. Organigrama de la Sección de Ingeniería	3
1.5. Ubicación	4
2. CONCEPTOS GENERALES.....	5
2.1. Normas relacionadas con la construcción de torres de telecomunicaciones.....	5
2.2. Memoria de cálculo	6
2.2.1. Información necesaria que debe incluir la memoria de cálculo.....	9
2.2.1.1. Requerimientos de carga muerta y dinámica	10
2.2.1.2. Altura de la estructura	11
2.2.1.3. Velocidad de viento de diseño	12

2.2.1.4.	Plano de elevación del modelo de torre	16
2.2.1.5.	Cuadro de reacciones	18
2.2.2.	Análisis de una memoria de cálculo	18
2.2.2.1.	Cargas solicitadas.....	19
2.2.2.2.	Altura de la torre y sus accesorios	22
2.2.2.3.	Velocidad de viento de diseño	23
2.2.2.4.	Plano de planta del modelo de torre....	24
2.2.2.5.	Cuadro de reacciones	25
2.3.	Tipo de aceros utilizados para la construcción de torres.....	29
2.4.	Tipo de tratamiento anticorrosivo recomendado para torres de telecomunicaciones	37
2.4.1.	El espesor del recubrimiento galvanizado para el acero estructural.....	38
2.4.2.	El espesor del recubrimiento sobre los elementos roscados centrifugados	39
2.5.	Parámetros principales que definen una torre	40
2.6.	Cálculo del viento en referencia a la altura	41
3.	FASE TÉCNICO PROFESIONAL	53
3.1.	Diseño y planificación de las etapas necesarias para recopilar información para diseño de la estructura.....	53
3.2.	Metodología óptima para diseño de torre.....	59
3.3.	Creación de listados de condiciones para apoyar a la recopilación de información	70
3.4.	Creación de documento de referencia para la metodología de optimización.....	70

4.	FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE.....	73
4.1.	Capacitación sobre medidas de seguridad para trabajar dentro de estructuras metálicas	73
4.1.1.	Orientada a personal que trabaja en la torre	74
4.1.2.	Personal que supervisa los sitios	77
4.2.	Capacitación sobre el análisis de la memoria de cálculo de las estructuras metálicas.....	78
4.3.	Entrega de documento descriptivo de la metodología de optimización a la Gerencia de Ingeniería	81
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES.....	85
	BIBLIOGRAFÍA.....	87
	ANEXOS	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la dirección de Ingeniería.....	4
2.	Escenario de dirección de viento normal.....	13
3.	Escenario de dirección de viento bisector	14
4.	Escenario de dirección de viento paralelo	15
5.	Plano de elevación de torre.....	17
6.	Sitios construidos por semestre	55
7.	Distribución de sitios por departamento	56
8.	Cantidad de torres implementadas y su velocidad de viento básica.....	57
9.	Cantidad de sitios <i>versus</i> su altura.....	58
10.	Diagrama de flujo de proceso optimizado de diseño de torre	60

TABLAS

I.	Cuadro de reacciones	27
II.	Disponibilidad de tubos de acero y tubos estructurales de acuerdo con la especificación de material ASTM.....	32
III.	Propiedades mecánicas del acero A500	34
IV.	Propiedades del acero A36	36
V.	Factores de dirección de viento.....	44
VI.	Coeficientes de fuerza de accesorios.....	45
VII.	Coeficientes para calcular fuerza de viento en paraboloides típicos sin radomo	50
VIII.	Factores de dirección de viento.....	52

IX. Tabla de verificación de datos 54

GLOSARIO

Análisis estructural	Es el uso de las ecuaciones de la resistencia de materiales para encontrar los esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura.
Antenas	Dispositivo diseñado con el objetivo de emitir y recibir ondas electromagnéticas.
Cable de transmisión	O cable coaxial, es el cable que se utiliza para transmitir señales eléctricas de alta frecuencia.
Carga muerta y dinámica	Son las fuerzas aplicadas sobre las estructuras sin que la misma sufra deformaciones considerables, siendo la carga muerta la que tiene magnitud constante y una posición fija durante la vida útil de la estructura y las cargas dinámicas son las que varían su magnitud y su posición durante la vida útil de la estructura.
Comunicación celular	Es la que se establece sin el uso de cables y que para garantizar la movilidad necesita mantener una red de comunicaciones.

Cuadro de reacciones	Es uno de los resultados esperados de una memoria de cálculo en donde se especifican los esfuerzos, tensiones y esfuerzos cortantes que la torre transmitirá hacia su cimentación.
Fibra óptica	Es un hilo muy fino de material transparente por que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir confinando dichos rayos de luz y propagándolos por su interior con un ángulo de reflexión por encima del ángulo limite de reflexión total.
Memoria de cálculo	Registro en el que el ingeniero estructural describe los cálculos y procedimientos que se llevaron a cabo para determinar las secciones de los elementos estructurales incluyendo los criterios en los que se basaron.
Metodología	Vocablo generado a partir de las palabras griegas: <i>metá</i> (mas allá), <i>odós</i> (camino) y <i>logos</i> (estudio) por lo que puede entenderse como el conjunto de procedimientos que determinan la mejor forma de alcanzar un objetivo.
Microprocesadores	O procesador, es el circuito integrado central y más complejo del sistema informático realizando operaciones aritméticas y lógicas simples a gran velocidad.

Miniaturización	Es el proceso tecnológico mediante el cual se intenta reducir el tamaño de los dispositivos electrónicos.
Norma	Término de raíz latina que significa escuadra y que permite ajustar ciertas conductas o actividades.
Señales electromagnéticas	Es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio, las cuales no necesitan de un medio material para propagarse, es decir, se pueden desplazar en el vacío.
Torre	Estructura metálica utilizada para la instalación de antenas en la industria de telecomunicaciones y energía, permitiendo alcanzar alturas suficientes para sobresalir del resto de construcciones o liberar el campo visual lo suficiente para permitir la interconectividad entre ellas.

RESUMEN

Definir una metodología que permita cumplir en un alto porcentaje con los requerimientos que se hacen a las torres de telecomunicaciones, creando las herramientas necesarias para orientar todos los esfuerzos y recopilar la información necesaria y básica que permita diseñar una torre bajo normas nacionales e internacionales, evitando de esta manera sobrecostos por sobrediseños o los riesgos asociados con el desplome de una torre por un mal dimensionamiento.

Se especifican los principales parámetros que una torre debe cumplir y se presenta la memoria de cálculo de una torre en servicio actualmente, como ejemplo, para que se forme una idea de dónde ubicar dichos parámetros y que sean congruentes con los requerimientos.

Se realiza un análisis de los parámetros de acuerdo con las normas y la relación que esta tiene con la definición de cargas o los requerimientos a las que será sometida la torre.

OBJETIVOS

General

Creación de documento de consulta y referencia para la selección de torres autosoportadas a utilizar en Guatemala, basados en las normas internacionales, estudios locales, condiciones climáticas del país y experiencia del estudiante.

Específicos

1. Optimizar el uso de las torres en Guatemala por parte de Telefónica Móviles Guatemala.
2. Especificación del tratamiento contra la corrosión.
3. Conocer los factores mecánicos determinantes al momento de elegir una torre.
4. Conocer los tipos de acero para la construcción de una torre de acuerdo a las normas internacionales.
5. Conocer las medidas de seguridad al momento de escalar una torre.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las compañías transnacionales se tiene la práctica de homologar las especificaciones de otros países para diseñar las torres locales, las cuales exceden en muchos casos los requerimientos de la operación local, impactando los proyectos por sobrecostos tanto en la inversión inicial, como en el mantenimiento al operar y mantener un inventario sobredimensionado.

Con el presente Ejercicio Profesional Supervisado se definió una metodología que permite recabar la información de las cargas que se aplicarán sobre la torre triangular tubular de amplio uso en la industria celular, emitir las especificaciones necesarias para que los fabricantes puedan presentar un diseño y analizar dicho diseño en busca de la solución óptima para las necesidades a cubrir.

En el capítulo uno, se presenta a la empresa en donde se realizó la práctica, su actividad y la organización dentro del área de ingeniería que es el área responsable de la instalación de torres.

En el capítulo cuatro se describe la parte de la enseñanza y aprendizaje que la presente práctica aportó al personal que trabaja dentro del área de ingeniería y que amplía el horizonte de conocimientos de los trabajadores sobre las medidas de seguridad a emplear cuando se trabaja con las torres.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Generalidades de la empresa Telefónica Móviles Guatemala

Telefónica Guatemala, forma parte del grupo Telefónica internacional y es un operador integrado de telecomunicaciones líder a nivel mundial en la provisión de soluciones de comunicación y entretenimiento.

En Guatemala, ofrece servicios de comunicación móvil o celular, con presencia en todo el país y al ser parte del grupo Telefónica, se financia por capitalización accionaria, inició operaciones en Guatemala en 1999 después de haber ganado la licitación de la banda de radiofrecuencias en 1 900 megahertzios en 1998.

Actualmente, es el tercer operador de acuerdo a la cantidad de clientes que tiene, después de su fusión con Bellsouth Guatemala, tiene una base de clientes registrada a la fecha de 5 000 000 de usuarios.

Sus oficinas centrales se encuentran ubicadas en tres edificios, ocupando únicamente uno para la actividad administrativa y comercial y dos para las actividades técnicas y de operación de red.

Sus oficinas administrativas están localizadas en Boulevard Los Próceres 20-09 zona 10.

Las oficinas técnicas, en donde se desarrolla esta práctica supervisada, está localizada en: Aguilar Batres 38-94 zona 11, edificio donde se encuentra el área de ingeniería, responsable de todos los proyectos de ampliación y mejoramiento a nivel técnico, dando soporte a las áreas comerciales y de marketing en la creación de nuevos servicios

1.2. Actividades

Telefónica Móviles Guatemala presta los servicios de telecomunicaciones móviles de voz y datos, incluyendo los llamados servicios de valor agregado como los mensajes de texto, buzón de voz, conexiones a Internet, etcétera.

Tiene baja participación en la telefonía fija retrayéndose de ese mercado desde 1998.

Cuenta con una pequeña participación en redes de datos en el mercado corporativo, ofreciendo servicios de redes virtuales y conectividad en la mayor parte de las zonas de la ciudad de Guatemala.

1.3. Visión y Misión

La visión de Telefónica Guatemala es: “Queremos mejorar la vida de las personas, facilitar el desarrollo de los negocios y contribuir al progreso de las comunidades donde operamos, proporcionando servicios innovadores basados en las tecnologías de información y comunicación”.¹

¹ Telefónica Móviles Guatemala, Maria Lucrecia Fernández Cáceres, experto en recursos humanos, entrevista realizada el 21 de junio de 2011.

Y su misión es: “Proporcionar comunicación a sus usuarios en voz y datos a precios accesibles con calidad”.²

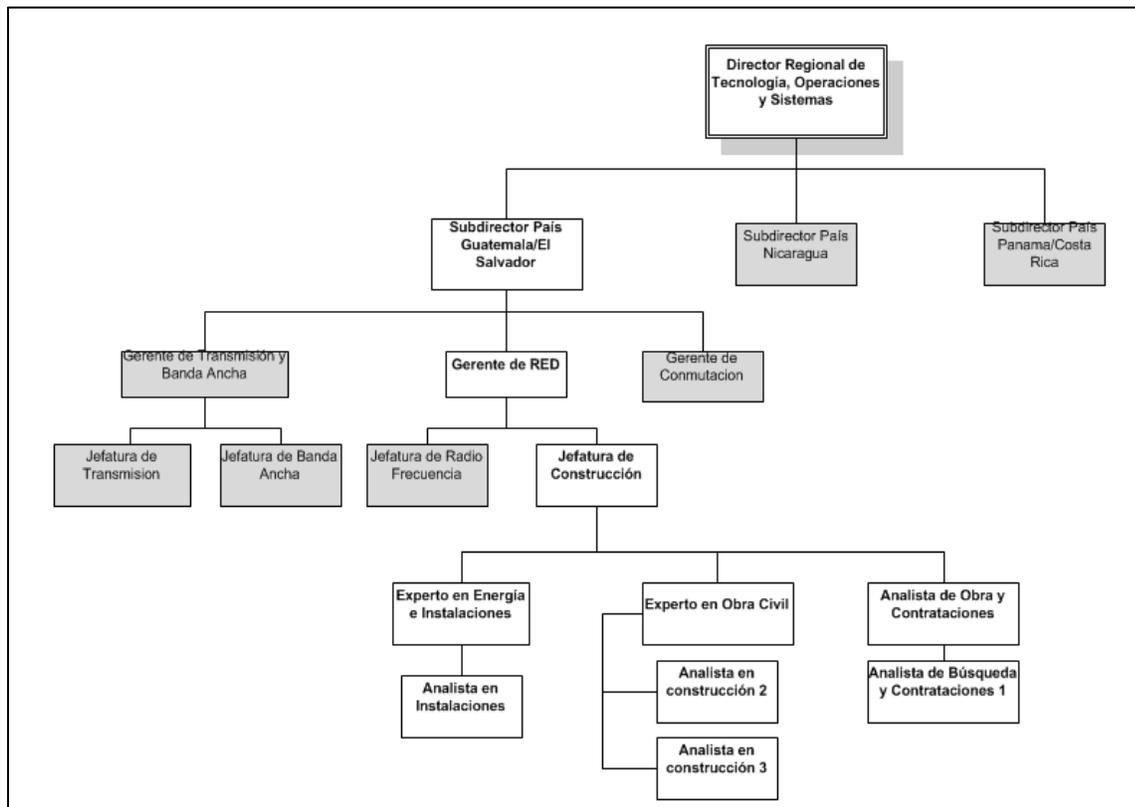
1.4. Organigrama de la Sección de Ingeniería

La organización de la Sección de Ingeniería es lineal, responde a un director regional de tecnología, operaciones y sistemas, quien es responsable de las subdirecciones de ingeniería de los países en donde Telefónica Móviles tiene presencia en Centro América y a nivel de ingeniería se alinea a las acciones comerciales que la empresa presenta en cada país, desarrollando proyectos a nivel técnico que respaldan las estrategias comerciales.

En cada país se cuenta con una Subdirección de Tecnología, Operaciones y Sistemas, que se encarga de organizar el área de ingeniería local para el desarrollo de los proyectos que la Dirección establece, bajo los parámetros y especificaciones emitidas para el caso, aunque dichos parámetros y especificaciones están limitadas a los alcances financieros y de tiempo del proyecto y las especificaciones técnicas son las que establece la corporación a nivel Latinoamérica.

² Telefónica Móviles Guatemala, Maria Lucrecia Fernández Cáceres, experto en recursos humanos, entrevista realizada el 21 de junio de 2011.

Figura 1. Organigrama de la dirección de Ingeniería



Fuente: elaboración propia.

1.5. Ubicación

Las oficinas de la Sección de Ingeniería están ubicadas en Calzada Aguilar Batres 38-94 zona 11 de Guatemala, dentro del edificio Telefónica.

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1. Normas relacionadas con la construcción de torres de telecomunicaciones

La industria de la construcción de torres para telecomunicaciones, dentro del territorio de Centro América, no está regulada y reglamentada, por lo que las empresas se han valido de normas y reglamentaciones de otros países para lograr estandarizar los procesos y lograr que los fabricantes, diseñadores e instaladores tengan un marco de referencia para darle garantía y homologar los procesos para facilitarse de ese modo, el costeo de obra, los alcances de obra, el diseño y la implementación de los proyectos.

A continuación, se enumera cada uno de los ejemplares que contienen los lineamientos a cumplimentar en el diseño y cálculo de estructuras metálicas para soportes de antenas y sus cimentaciones, es aplicable a todas las estructuras metálicas destinadas a ser utilizadas como soporte para antenas y a algunas o todas las tareas siguientes:

- Análisis estructural
- Fabricación
- Transporte
- Montaje
- Desmontaje

De la investigación documental, se encontró que la mayoría de fabricantes, diseñadores e instaladores, aplican las siguientes normas como guía para las tareas anteriormente mencionadas:

ASTM: American Society for Testing and Materials.

ANSI/TIA/EIA-222-F: Structural Standard for Antenna Towers and Antenna Supporting Structures.

AISC: American Institute of Steel Construction.

ACI: American Concrete Institute.

AWS D1.1: American Welding Society code-steel.

Para la industria, la más utilizada es la ANSI/TIA/EIA-222-F, por lo que esta será la principal herramienta para esta práctica y de esa manera tener un lenguaje internacional de amplio uso dentro de la industria de telecomunicaciones, para la creación de infraestructura.

2.2. Memoria de cálculo

Se conoce como memoria de cálculo, al registro que el ingeniero estructural responsable del diseño, pública hacia los usuarios de la torre y en él reporta todos los supuestos y los cálculos que realizó para avalar el correcto desempeño de la misma de acuerdo a las normas.

Dentro de la misma debe incluirse el modelaje o distribución y configuración de las piezas para la torre, la velocidad de viento de diseño, todas las cargas dinámicas y estáticas que la misma soporta.

También se debe especificar el tipo de torre, los materiales y los esfuerzos que se consideran en cada uno de los elementos estructurales que conforman la misma.

En la actualidad, los ingenieros estructurales se apoyan en programas de computación para realizar dichos cálculos, así como, someter a los modelos a una serie de pruebas bajo parámetros críticos para corroborar el comportamiento de la torre o corregir el mismo y lograr un mejor desempeño, entre estos programas se pueden contar con: SAP2000, RISATower, ETAAB, etcétera.

Como cualquier programa de computación, es responsabilidad del ingeniero estructural comprobar que la información con la que se alimenta al programa es correcta y congruente con los fines para los que se destina la estructura, que los parámetros del mismo correspondan con lo que dictamina la norma, que las especificaciones de los materiales sean las correctas, ningún fabricante de programas de computación se hace responsable de los datos de ingreso y de los resultados que se obtengan producto de los mismos, así como, los parámetros y especificaciones de los materiales, por ello es importante que la memoria de cálculo esté debidamente firmada y sellada por el profesional que presenta la misma.

Para la presente práctica, se ha definido la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F como la norma a cumplir en todas las estructuras para soporte de antenas y por lo tanto, en la memoria de cálculo debe estar claramente identificada que cumple la misma.

La Norma ANSI/TIA/EIA-222-F fija criterios mínimos para el diseño, fabricación y construcción de las estructuras que soportan antenas, es responsabilidad del usuario de la torre proveer los datos y requisitos específicos del sitio de instalación al diseñador.

Por lo anterior, se adjunta tabla en el anexo 1, en la cual, se deben reportar todas las especificaciones que la torre tiene que cumplir y que el ingeniero estructural toma en cuenta para el diseño.

En cualquier torre de Telecomunicaciones, es la fuerza de viento el factor crítico y que puede hacer colapsar la estructura, de acuerdo con la AGIES NR-5 2001, por tratarse las torres de elementos altos, esbeltos y con poca masa, es usual que las cargas de viento representen una de las principales acciones a las que serán sometidas.

Dentro de Telefónica y en cuanto no sean desarrolladas las especificaciones para las cargas de viento en Guatemala y dada las características particulares de estas estructuras se usan las siguientes normas:

Torres de conducción eléctrica: se utiliza la Norma especializada "Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading".

Torres de comunicación: para este tipo de torres deben utilizarse las Normas estructurales para torres y estructuras de cero para antenas.

Y para la aplicación de las normas antes mencionadas, debe establecerse la Velocidad Básica de Viento V_0 , que es el viento extremo medido en una ráfaga de 3 segundos a 10 metros sobre el nivel del terreno, a campo abierto y con probabilidades de ser excedido una vez cada 50 años.

En el territorio de Guatemala, puede estimarse una velocidad básica de viento de 130 kilómetros por hora y se recomienda, en particular, revisar dicho valor para los tramos costeros expuestos a la posibilidad de ser sujetos a la acción de los huracanes, en la industria guatemalteca, para zonas como Puerto Barrios, Escuintla y todo el litoral pacífico, por experiencia se ha establecido una velocidad de viento básica de 145 kilómetros por hora que equivale a 90 millas por hora y que representa un 11% más que la recomendada por AGIES NR-5 2001.

2.2.1. Información necesaria que debe incluir la memoria de cálculo

Debido a que la memoria de cálculo es el pilar en donde se sustenta el trabajo y soporta toda la metodología de optimización en el diseño de las estructuras metálicas de soporte para antenas de Telecomunicaciones en la industria celular, en este apartado se trabajará todo lo relacionado a la información necesaria que la misma debe contener.

2.2.1.1. Requerimientos de carga muerta y dinámica

El anexo 1 del presente informe, debe formar parte de la memoria de cálculo y estar completamente lleno; y en el apartado de condiciones especiales ampliar si en el sitio se tiene alguna condición especial de carga hacia la torre, velocidad de viento o alguna solicitud especial que deba tomarse en cuenta, por ejemplo, su cercanía al mar en donde una atmósfera de alta salinidad debe hacer que el diseñador recomiende una mejor protección contra la corrosión y cambie el diseño de la cimentación.

La carga muerta o estática está comprendida por: plataforma de descansos, ménsulas o soportes para antenas, antenas de radiofrecuencia, antenas de microondas, transceptores, cables de alimentación de transceptores, cable coaxial de diferentes medidas para las antenas de microondas, sistemas de protección contra descarga electroatmosférica, etcétera.

Como carga dinámica, se tienen las inducidas por el personal operativo durante las labores de mantenimiento de la estructura o durante la instalación de las antenas, cables y accesorios necesarios para brindar el servicio celular.

“La Norma ANSI/TIA/EIA-222-F, define, para los accesorios carga puntual y carga distribuida, siendo la puntual la definida como la carga que se puede suponer concentrada en un punto y la carga distribuida la que se puede suponer como la distribuida en una sección de la torre”.³

³ Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. *Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas*. p. 3.

“La Norma ANSI/TIA/EIA-222-F, establece la siguiente nomenclatura para las cargas:

D	=	peso permanente de la estructura, riendas y accesorios.
F	=	fuerza horizontal aplicada a una sección de la estructura.
F _C	=	carga de viento de diseño sobre un accesorio puntual.
I	=	peso de hielo.
W _I	=	carga de viento de diseño sobre la estructura, accesorios, riendas, etcétera, con hielo.
W _O	=	carga de viento de diseño sobre la estructura, accesorios, riendas, etcétera, sin hielo radial.
K _Z	=	coeficiente de exposición.
L _C	=	longitud de la cuerda entre los extremos de una rienda.” ⁴

2.2.1.2. Altura de la estructura

Se debe especificar la altura de la torre en tramos de 6 metros por cada sección, por lo que las alturas para torres autosoportadas, triangulares y montantes tubulares son múltiplos de 6 a partir de 24 metros.

Se pueden construir de menor altura, pero son casos excepcionales debido a que existen otros tipos de configuraciones con igual desempeño, pero mucho menor costo, por ejemplo, torres atirantadas.

⁴ Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. *Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas*. p. 3, 4.

Por lo anterior, las torres pueden ser diseñadas en alturas de 30, 36, 42, 54, 60, 72, 84, 90, 102 metros o más, en casos especiales el último tramo puede ser de una altura diferente a los 6 metros, para dar alturas como 45 metros o 75 metros, pero el costo de hacer un tramo complemento de 3 metros, es similar o mayor a realizarlo con tramos de 6 metros.

2.2.1.3. Velocidad de viento de diseño

La velocidad de viento debe ser medida en viento básico (BWS por sus siglas en inglés y es como se encontrará en la mayoría de documentación) de la milla más rápida (*fastest mile*) según definición de la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F sección 2.1.3.1.

La memoria de cálculo debe registrar el comportamiento de la estructura bajo diferentes escenarios de viento.

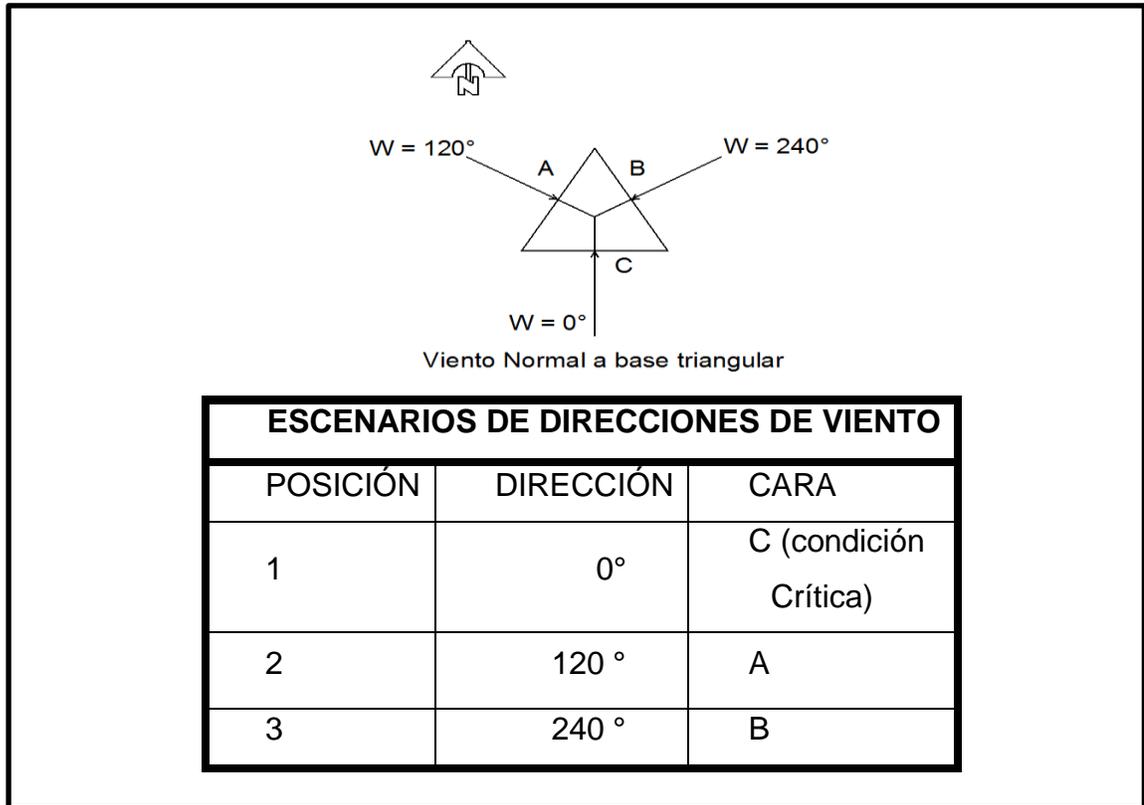
Cada escenario de viento debe provocar la máxima tensión, momentos torsores y fuerzas de viento sobre la estructura con las cargas instaladas a las alturas y orientaciones dadas por las ingenierías de transmisión y radiofrecuencia.

“En el caso de torres triangulares se deben considerar como mínimo las tres direcciones de viento gobernantes (normal, bisector y paralelo) con los coeficientes de dirección de la tabla 2 de la Norma ANSI/EIA/TIA-222-F y considerando para cada caso la ubicación de la cortina de cables y escalerillas de la cara más desfavorable”.⁵

⁵ Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. *Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas*. p. 3.

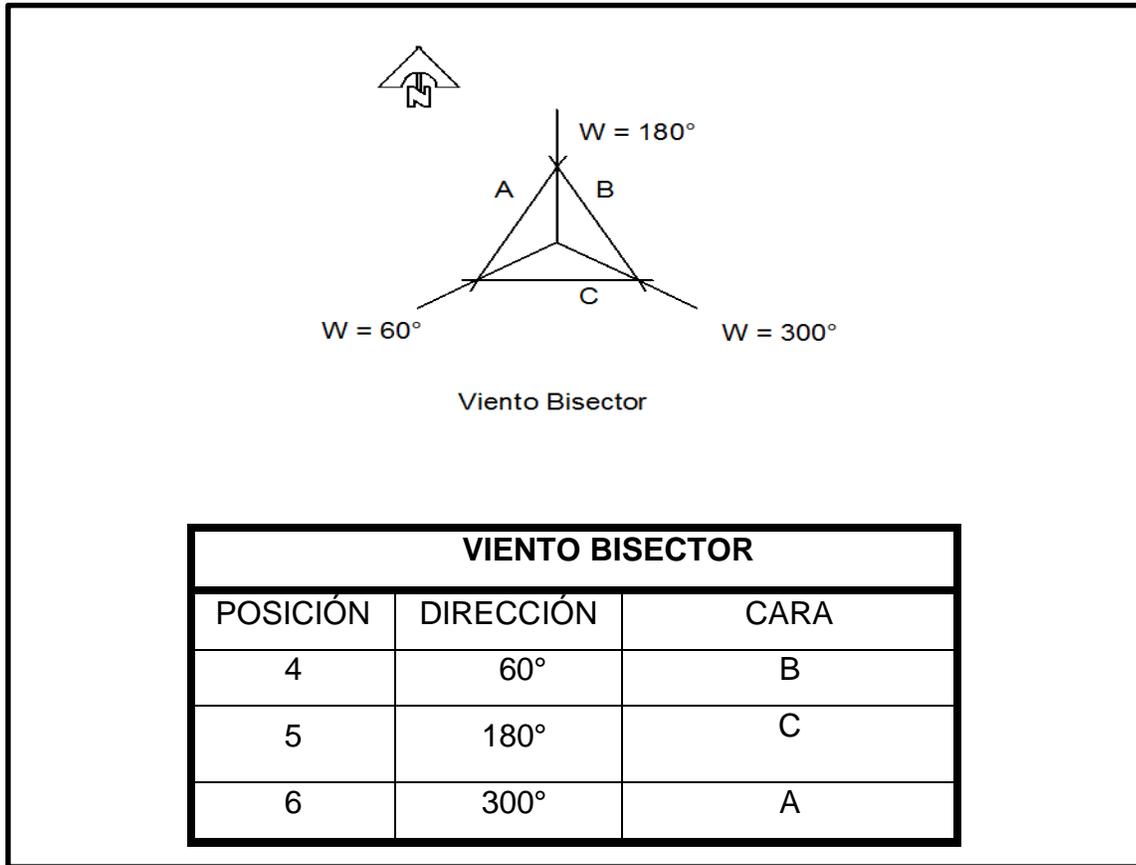
A continuación, se adjuntan las tablas de referencia de las direcciones de viento sobre una torre triangular para mejor comprensión.

Figura 2. **Escenario de dirección de viento normal**



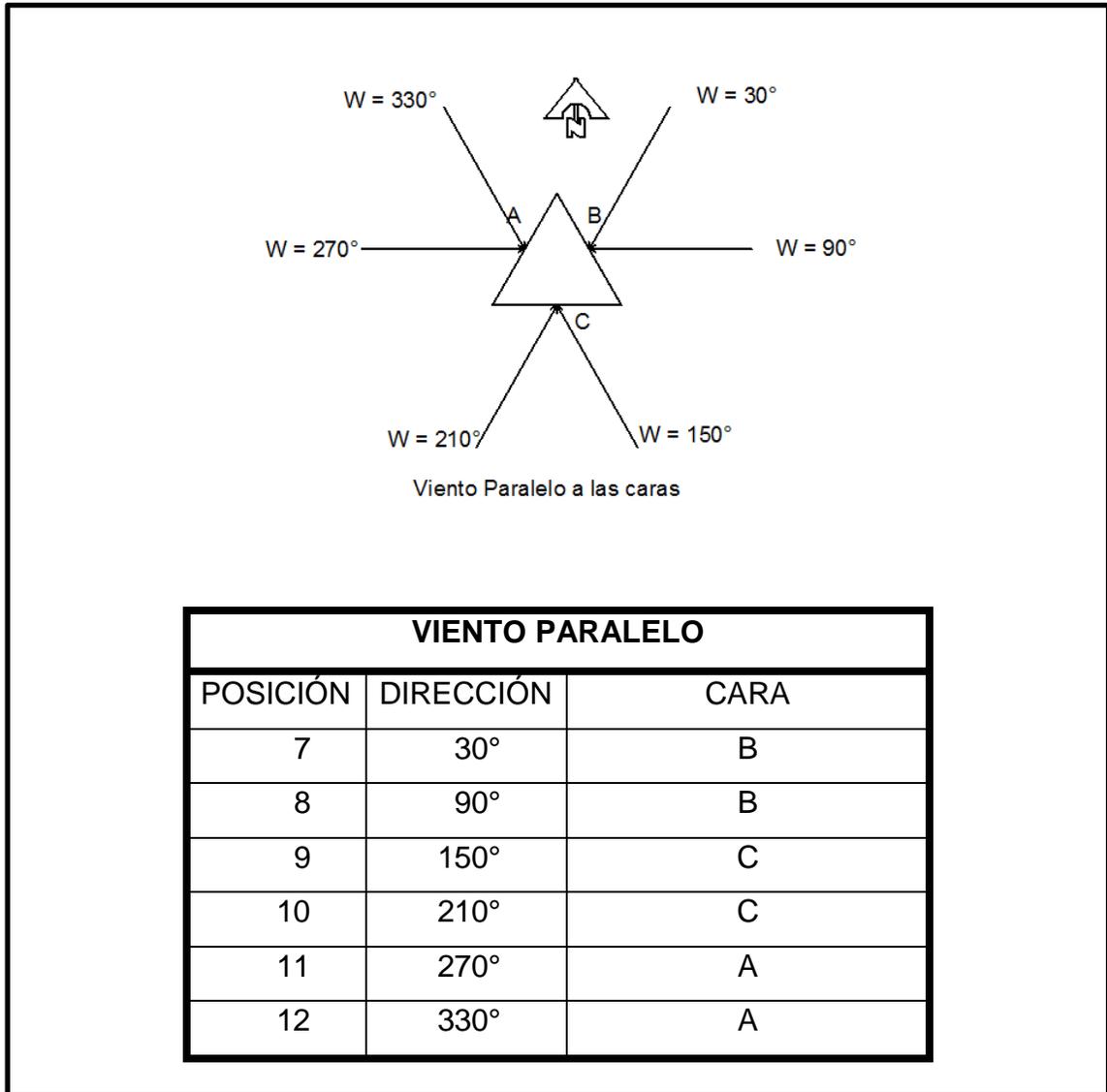
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Escenario de dirección de viento bisector**



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Escenario de dirección de viento paralelo**

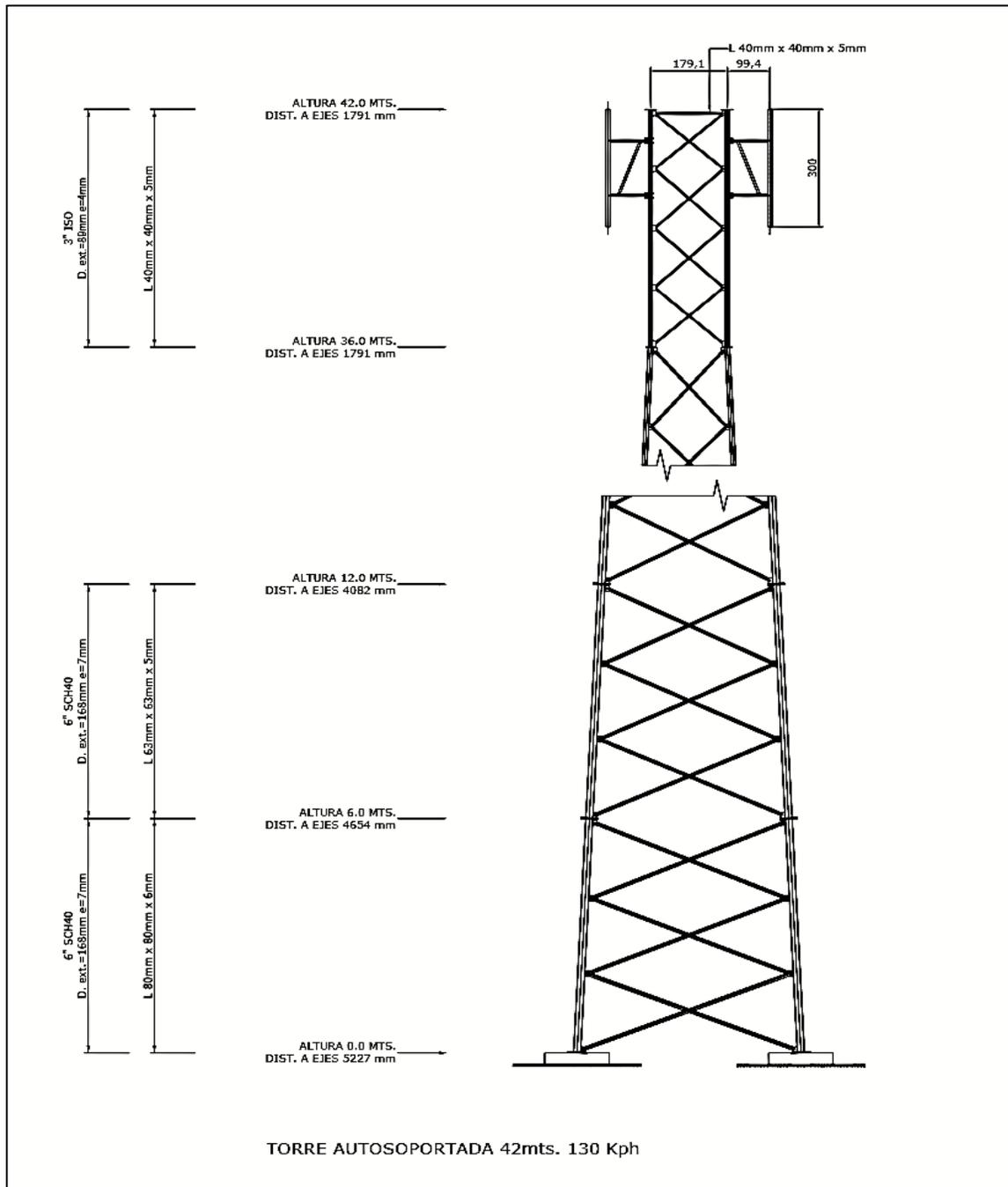


Fuente: elaboración propia.

2.2.1.4. Plano de elevación del modelo de torre

Es de vital importancia contar con el plano en elevación del modelo de la torre que se está analizando dentro de la memoria de cálculo con la información sobre: dimensión de cada uno de los montantes y largueros o elementos transversales, que se conocen también como celosilla o braces, (del inglés brace: soporte), distancia a cada nodo de unión, así como, su distancia basal y la distribución de soportes para antenas de radiofrecuencia y de microondas, altura total de la estructura, descripción del material con el que se fabrica cada montante, cada elemento transversal de carga y toda información que ayude a verificar el análisis estructural de la torre, se adjunta una elevación propuesta:

Figura 5. Plano de elevación de torre



Fuente: elaboración propia.

2.2.1.5. Cuadro de reacciones

Este es uno de los principales resultados que sirven de la memoria de cálculo, con esta información, el ingeniero civil, puede, junto con el estudio de suelos, dimensionar la cimentación necesaria para soportar el peso de la torre, su carga, la carga dinámica y los esfuerzos de tracción, compresión, corte y volteo que los mismos provocan y que transferirá a dicha cimentación.

2.2.2. Análisis de una memoria de cálculo

En la sección anterior, se establecieron los requerimientos mínimos que debe contener una memoria de cálculo, sin interferir en el análisis necesario y obligatorio del ingeniero estructural, pero que dé la certeza que la estructura o torre que se va a emplear es la correcta para los requerimientos, sin costos extras por sobrecargas que implican más acero trabajado o por cimentaciones grandes, de geometría complicada, costos altos por excavaciones innecesarias, o subdimensionada para futuras cargas que hagan peligrar la estructura bajo cualquiera de los escenarios vistos de fuerza de viento y cargas.

A continuación, se analizará la memoria de cálculo del anexo 2 del presente informe, esta memoria de cálculo pertenece a una torre que actualmente se encuentra en servicio y que por contener la mayor parte de datos necesarios, bien explicados y claros, se tomó la decisión de presentarla para tener una mejor comprensión de ella.

De acuerdo a la sección 2.2.1.1. en la presente memoria de cálculo deben estar contenidas las cargas muertas y dinámicas que se le exigirán a la torre para que pueda soportar sin colapsar a la velocidad de viento básica especificada.

Para el caso de la memoria de cálculo incluida en este reporte es de 80 millas por hora que equivalen aproximadamente a 129 kilómetros por hora bajo el sistema métrico.

2.2.2.1. Cargas solicitadas

De la hoja 1 de la memoria de cálculo que se adjuntó en el anexo 2 de este informe, se ve la tabla de cargas de diseño que son:

Seis antenas ADFD1820-6565-XD con su estructura para instalación o Mount Pipe, aunque en esta memoria de cálculo no está explícitamente descrito pero se distribuyen en 3 juegos de dos antenas con las siguientes orientaciones: 0 grados, 120 grados y 330 grados en referencia al norte y todas se encuentran a la misma altura de 174 pies o 53 metros y 1 metro por debajo de la cota nominal o altura total de la torre sin incluir el sistema de protección contra descargas electroatmosféricas.

Dos antenas de microondas del tipo parabólica, con un diámetro de 1 metro 22 centímetros (4 pies), ejerciendo los esfuerzos a una altura de 51 metros, ambas instaladas a 0 grados hacia el norte, tienen sus accesorios de sujeción en la torre.

Un juego extra de tres antenas de microondas del tipo parabólica, con un diámetro de 60 centímetros, ejerciendo los esfuerzos a una altura de 50 metros, y acá se encuentra una descripción sobre el uso de radomo, en este caso se especifica que no tiene.

Este accesorio es utilizado en las antenas parabólicas para proteger la superficie de la parábola de impurezas que el aire, la lluvia o el ambiente en general; puede depositar sobre su superficie de la antena.

Si lo anterior sucede, cambia la geometría de la misma y por lo tanto, disminuye su desempeño desde el punto de vista de radiofrecuencia para transmitir o recibir señales electromagnéticas; y desde el punto de vista del análisis de reacciones que se inducen en las estructuras y la torre misma, los esfuerzos de viento actúan de manera distinta a si el viento se concentrará sobre una superficie parabólica.

La miniaturización de los sistemas ha ido avanzando a grandes pasos en las telecomunicaciones, desde la invención de los chips y los microprocesadores, los equipos han ido disminuyendo su tamaño, de la mano con el uso eficiente de la energía.

Esta investigación y desarrollo de parte de las compañías dedicadas a la fabricación de la electrónica, ha permitido tener canales de comunicación más eficientes entre el equipo instalado entre la torre y el resto de la red, en especial hacia la central de conmutación por medio de antenas de perfil bajo, las cuales presentan menos resistencia al viento o tienen menor área expuesta al viento.

Del mismo modo, las microondas gradualmente han sido desplazadas por el uso de sistemas de transmisión basados en fibra óptica, con mucha más capacidad de transporte de información, pero con costo demasiado elevado para grandes distancias, por lo que su uso es rentable en áreas densamente pobladas.

Las líneas de transmisión tipo coaxial presentan demasiadas pérdidas en la potencia transmitida por medio de ellas, así como, ser objeto de una rutina de mantenimiento preventivo/correctivo con costos de producción alto al ser necesario contar con mano de obra calificada para realizar este mantenimiento, equipo especial para realizar cada una de las conexiones, el peso del cable en si es significativo para la torre, así como, el área expuesta a la fuerza de viento y al ser construidos con cobre, el vandalismo por el mismo es elevado.

Las razones anteriores han hecho que muchos fabricantes de equipos cambien la arquitectura de sus equipos para permitir el uso de fibra óptica en el lugar del cable coaxial.

Al realizar este cambio de coaxial a fibra óptica han minimizado, desde el punto de vista de la torre, el peso de los cables, sus accesorios de instalación y la herrajería de soporte, reduciendo el tamaño de los mismos y por ende el área expuesta al viento, por lo que se generan menores fuerzas por los mismos.

Por lo que los cambios en la tecnología de antenas, líneas de transmisión y fibra óptica deben seguirse de cerca por el responsable de adquirir las torres, con los cambios, se tendrán estructuras más livianas y costos de construcción e instalación más baratos.

2.2.2.2. Altura de la torre y sus accesorios

En la memoria de cálculo del anexo 2, en el plano de planta, reporta que la altura de esta torre es de 54 metros (177,1 pies), ménsulas o accesorios de soportes de antenas de radiofrecuencia deben estar a 53 metros (174 pies) y debe tener las facilidades para instalar seis antenas a dicha altura, dos por cada sector de la torre.

Por ser una torre triangular, se comienza desde 0 grados con dirección norte, que es donde se montará el primer juego de dos antenas y podrá barrer un ángulo de +/- 60 grados a partir de esta línea referencial de 0 grados hacia el norte sin ningún obstáculo, el siguiente juego debe estar con una línea referencial de 120 grados a partir del norte con similar libertad de movimiento horizontal.

El último juego, debe estar 240 grados a partir del norte e igualmente puede tener un juego de +/- 60 grados sin tener ningún obstáculo que interfiera, todos las ménsulas van instaladas al montante más cercano al ángulo central o sea 0 grados, 120 grados y 240 grados.

Para el caso de las antenas de microondas, el peor escenario siempre va a ser el perpendicular al vector de viento, por lo que se calcula que todas las antenas de microondas están de frente a la fuerza de viento, por lo que para la torre que está analizando está a 0 grados en referencia al norte y 2 antenas de microondas con un plato parabólico de 1 metro y 22 centímetros de diámetro a la misma altura de 51 metros; y aunque se sabe que físicamente esto no se puede instalar de esta manera, se especifica así y la norma no indica nada en contrario a esta práctica utilizada en la industria local para configurar los programas de cálculo.

Muchos fabricantes de torres han dado sus comentarios en contra de esta práctica y al aceptar los programas de computación este tipo de distribución sin ningún inconveniente, se ha optado por seguir con la misma y que está mal fundamentada en el deseo de los solicitantes de asegurarse que la torre tenga capacidad suficiente para tener dos antenas del mismo diámetro a la misma altura aunque con diferente orientación.

Por último, se tienen dos antenas de microondas de cara al viento y con un diámetro de dos pies con el mismo comentario sobre la imposibilidad física de tener dos antenas a la misma altura y con la misma orientación.

De la investigación en campo, se ha observado la mala práctica de distribuir en la torre, antenas de diámetros mayores en la parte superior de la misma y dejar las de menor diámetro abajo, al hacer esto, se está sobreforzando la misma y el diseño de la torre debe ser reforzado, pagando un costo monetario alto por esta práctica, tanto en acero trabajado, como en cimentación, por lo que una buena práctica de distribución de cargas sería que las antenas más grandes deben ser instaladas en los primeros tramos de la torre y las antenas de menor diámetro instalarlas en los últimos tramos.

2.2.2.3. Velocidad de viento de diseño

De acuerdo con la memoria de cálculo, la velocidad de viento es de aproximadamente 129 kilómetros por hora (80 millas por hora) y de acuerdo con la página 1 de la memoria de cálculo bajo análisis, menciona que la misma corresponde a la velocidad de viento básica o viento extremo medido en una ráfaga de 3 segundos a 10 metros sobre el nivel del terreno, a campo abierto y con probabilidades de ser excedido una vez cada 50 años.

En Guatemala, se puede consultar en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidráulica (INSIVUMENH) quien cuenta con un mapa de Isotacas de sus 29 estaciones y del análisis de datos que corresponden al período comprendido entre 1980 al 2002, que equivalen a las observaciones de 23 años del viento promedio.

“En la Norma NR5: 2001 Requisitos Para Diseño de Obras de Infraestructura y Obras Especiales de la Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales (AGIES) y en su capítulo 6: Requisitos de Diseño Estructural de Torres y subsección 6.4.5 Cargas de Viento, literal B: Torres de Comunicaciones, recomienda que a falta de mejores datos, se puede estimar una velocidad de viento de 130 kilómetros por hora y en particular recomienda revisar este valor para tramos costeros expuestos a la posibilidad de ser sujetos a la acción de huracanes”.⁶

En este caso la torre que se está analizando tiene la velocidad de viento básica dada en millas por hora, al hacer la conversión a kilómetros por hora, dará por resultado que la torre se diseñó para 128,75 kilómetros por hora y por lo tanto, no cumple con lo recomendado por la NR5, capítulo 6.

2.2.2.4. Plano de planta del modelo de torre

En la página 1 de la memoria de cálculo se puede ver el plano de planta de la torre que se está analizando, con la identificación de sus tramos, tipo de material utilizado para los montantes, así como, para las diagonales.

⁶ Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, *Normas estructurales de diseño y construcción recomendadas para la republica de Guatemala*, p. 87.

De este plano, se debería obtener el ancho basal de la misma para instalar los pernos y de la misma manera diseñar la cimentación por medio de saber en dónde se aplicarán los esfuerzos sobre ella, aunque dicha medida se puede obtener de los planos de montaje, siempre debe estar reportado en esta memoria, tal y como se encuentra en la tercer página donde se ve que al inicio del tramo T9, se tiene un ancho de 6 metros con 4 centímetros (19 pies 10 1/32 de pulgada), del mismo modo, se pueden ver las dimensiones de los elementos empleados y el tipo de material utilizado para cada sección.

2.2.2.5. Cuadro de reacciones

Este cuadro es de suma importancia y se debe aprender a leerlo para retroalimentar al ingeniero civil con la información certera para el diseño de la cimentación y una vez que el ingeniero civil presente su diseño y cálculo de cimentación, verificar que cumpla con las mismas.

En el cuadro denominado Maximum Reaction de dicha memoria se deben buscar las máximas reacciones de la torre sobre sus montantes.

Estas reacciones son el resultado de la resistencia del viento de las áreas expuestas de las antenas, cables, montantes, diagonales y toda área que presente resistencia al viento y que dicho viento tenga una velocidad de 129 kilómetros por hora en los diferentes escenarios de dirección de viento y cargas, para la presente memoria de cálculo que se está analizando se tienen los siguientes escenarios de dirección de viento:

- Carga muerta únicamente.
- Carga muerta + viento a 0 grados + sin nieve o hielo encima.
- IBC .6 de la carga muerta + viento a 0 grados + sin nieve o hielo encima.
- Carga muerta + viento a 90 grados+ sin nieve o hielo encima.
- IBC .6 carga muerta + viento a 90 grados + sin nieve o hielo encima.
- Carga muerta + viento a 180 grados + sin nieve o hielo encima.
- IBC .6 de la carga muerta + viento a 180 grados + sin nieve o hielo encima.
- Carga muerta + viento a 0 grados + carga de servicio.
- Carga muerta + viento a 90 grados + carga de servicio.
- Carga muerta + viento a 180 grados + carga de servicio.

Se extrae la tabla y se presenta a continuación con fines de extraer los datos de una manera fácil a manera de ejemplo.

Tabla I. **Cuadro de reacciones**

REACCIONES MÁXIMAS					
Localización	Condición	Carga Combinada	Vertical	Horizontal, X	Horizontal, Z
			lb	Lb	lb
Montante C	Max Vert	6	48 931,9	4 547,57	-4 007,99
	Max Hort X	6	48 931,9	4 547,57	-4 007,99
	Max Hort Z	3	-45 710,44	-4 383,45	4 021,74
	Min Vert	5	-68 098,99	-8 178,72	3 615,48
	Min Hort X	5	-68 098,99	-8 178,72	3 615,48
	Min Vert Z	6	48 931,9	4 547,57	-4 007,99
Montante B	Max Vert	4	76 950,29	-8 943,23	-4 003,16
	Max Hort X	3	-45 682,43	4 360,47	4 061,26
	Max Hort Z	3	-45 682,43	4 360,47	4 061,26
	Min Vert	3	-45 682,43	4 360,47	4 061,26
	Min Hort X	4	76 950,29	-8 943,23	-4 003,16
	Min Vert Z	6	48 978,43	-4 527,20	-4 044,53
Montante A	Max Vert	2	102 756,20	23,21	12 712,48
	Max Hort X	2	102 756,20	23,21	12 712,48
	Max Hort Z	2	102 756,20	23,21	12 712,48
	Min Vert	7	-84 135,00	-20,56	-10 551,04
	Min Hort X	5	2 752,99	-1 164,87	269,04
	Min Vert Z	7	-84 135,00	-20,56	-10 551,04

Fuente: Memoria de cálculo torre SSTT 54 metros 80 MPH del grupo ITM S.A.

Son tres reacciones las que necesita el ingeniero civil para el diseño de la cimentación, la cual junto con el estudio de suelos serán los que definan el tamaño de la misma, estas reacciones son: arrancamiento o fuerza vertical ascendente, de hundimiento o fuerza vertical descendente y fuerza cortante.

Se comprende que la carga vertical, es todo lo que está en el eje Y, con signo positivo hacia abajo, se encuentra que la reacción vertical mayor está dada en el montante A, siendo la mayor carga con signo negativo, bajo el escenario 2, compuesta por la carga muerta y viento perpendicular a la cara, con un valor de 102 756,2 lb de fuerza por lo que la cimentación debe tener un área de contacto al suelo de dimensiones tales que el suelo soporte esta reacción sin ceder y sin permitir que la torre se hunda cuando sufra esta carga, dicha área será calculada por el ingeniero civil.

Siempre en el mismo eje, se tiene la carga de arrancamiento o vertical ascendente y que es la máxima carga con signo positivo y es de 84 135 libras de fuerza, siempre en el montante A y bajo la influencia del escenario 7, por lo que la cimentación, en conjunto con el suelo, deben presentar una fuerza contraria mayor a esta para que la torre no arranque la cimentación cuando el escenario 7 se presente.

Y por último, se tiene la fuerza de corte que se ejerce en el plano X-Z en la unión de la torre con la cimentación y que es la componente de las fuerzas ejercidas en la torre por el viento bajo el escenario 2 que es el crítico de acuerdo con los cálculos estructurales, en este caso sólo interesa la magnitud de la fuerza, sin importar su dirección, para la memoria de cálculo que se está analizando, la misma tiene un valor de 12 712,48 libras de fuerza.

Dentro de la memoria de cálculo se puede encontrar el peso total de la estructura, que para la torre que se está analizando es igual a 15 593 libras, para fines de una estimación de presupuesto, se puede dividir el precio de la torre en el mercado entre el peso total y obtendrá el precio de la libra de acero trabajado, por lo que una torre que cumpla con la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F y además tenga una buena relación precio/peso de acero, debería ser la mejor opción de compra, por supuesto, se debe tomar en cuenta otros indicadores como tiempo de entrega, servicio posventa, calidad de fabricación y algunos otros factores que le agreguen un valor a la misma.

Pero, para una toma de decisión basada en datos, esta relación ofrece una referencia sobre la eficiencia del diseño para distribuir los esfuerzos óptimamente dentro de los montantes por medio del uso eficiente del acero.

2.3. Tipo de aceros utilizados para la construcción de torres

De acuerdo con la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F, el acero estructural, el acero colado, las piezas forjadas y los bulones debe satisfacer las especificaciones para materiales listadas en la edición del 1 de junio de 1989 de la publicación Specification for Structural Steel Buildings – Allowable Strees Design and Plastic Design del American Institute of Steel Construction, a la cual, de acá en más, se hace referencia como especificación AISC.

Los miembros estructurales de acero de consistencia liviana deben ser de calidad estructural según lo definido en la edición del 19 de agosto de 1986 de la publicación “Specification for th Design of Cold-Formed Steel Structural Members” del American Iron and Steel Institute, a la, cual de aquí en más, se hace referencia como especificación AISI.

Los materiales para estructuras y componentes tubulares deben satisfacer la sección 7 de la especificación ANSI/NEMA TTI-1893, Tapered Tubular Steel Structures.

Si se utilizan materiales diferentes a los especificados en la presente, el proveedor deberá proporcionar datos certificados sobre las propiedades mecánicas y químicas.

Las conexiones antideslizantes y las conexiones sujetas a tracción en las cuales la aplicación de carga externa da como resultado una acción de palanca producida por la deformación de las partes conectadas, se deben materializar con bulones de alta resistencia ajustados con las mínimas tensiones para bulones.

Estas tensiones mínimas para bulones están especificadas en la edición del 13 de noviembre del 1985 del documento "Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts" del AISC.

Excepción: si se puede demostrar que la rigidez de las partes conectadas es suficiente para reducir las fuerzas de palanca hasta hacerlas insignificantes, las conexiones traccionadas se pueden hacer con bulones de alta resistencia ajustados hasta la condición de ajuste sin huelgo según lo definido en la especificación AISC mencionada arriba.

Nota: las superficies de contacto de las conexiones antideslizantes no se deben aceitar ni pintar y en el caso de materiales galvanizados, las superficies de contacto se deben preparar de acuerdo con la especificación AISC mencionada.

Las conexiones de tipo portante se deben hacer con bulones de alta resistencia ajustados hasta la condición de ajuste sin huelgo según lo definido en las especificaciones AISC y los que no estén dentro de dicha especificación requieren un dispositivo fiador de tuerca.

Dentro del alcance de esta sección no se deben usar materiales diferentes al acero.

Dentro de Telefónica se maneja el manual de acero de construcción de la AISC, Load & Resistance Factor Design, segunda edición y de la cual se extrae la tabla número 1-4 Availability of Steel Pipe and Structural Tubing According to ASTM Material Specifications y se reproducirá acá:

Tabla II. **Disponibilidad de tubos de acero y tubos estructurales de acuerdo con la especificación de material ASTM**

Table 1-4 Availability of Steel Pipe and Structural Tubing According to ASTM Material Specification							
Steel	ASTM Specification	Grade	Fy Minimum Yield Stress (ksi)	Fu Minimum Tensile Stress (ksi)	Shape		availability
					Round	Square And Rectangular	
Electric-Resistance Welded	A53 Type E	B	35	60			Note 3
Seamless	Type S	B	35	60			Note 3
Cold Formed	A500	A	33	45			Note 1
		B	42	58			Note 1
		C	46	62			Note 1
		A	39	45			Note 1
		B	46	58			Note 2
		C	50	62			Note 1
Hot Formed	A501	----	36	58			Note 1
High-Strength Low-Alloy	A618	I	50	70			Note 1
		II	50	70			Note 1
		III	50	65			Note 1
Note 1: Available in mill quantities only; Consult with producers.							
Note 2: Normally stocked in local steel service centers.							
Note 3: Normally stocked by local pipe distributors.							
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Available </div>							
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 15px; background-color: white; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Not Available </div>							

Fuente: AISC, *Load and resistance factor design*, p. 1-21.

De acuerdo con esta tabla, el acero formado en frío A500 y en la forma de tubo viene únicamente en 3 grados A, B, C con un esfuerzo de fluencia igual a 33, 42 y 46 ksi respectivamente y esfuerzo último de 45, 58, 62 ksi, respectivamente, este es el acero que se utiliza para los montantes, aunque la tendencia ha sido a traer acero de otros países como por ejemplo: China, Chile, Argentina y Brasil, los cuales cumplen normas diferentes a la AISC.

La norma contempla para estos casos que el fabricante de la torre deberá proporcionar datos certificados sobre las propiedades mecánicas y químicas de estos materiales y en especial para garantizar el mismo, por práctica común en la industria se solicita que se presenten pruebas avaladas por algún laboratorio nombrado por el cliente, en la mayoría de los casos, los fabricantes de torres corren con los costos de dichas pruebas.

Algunas características del acero A500 grado B en forma de tubo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla III. **Propiedades mecánicas del acero A500**

Propiedades físicas:		
	Sistema Métrico	Sistema Ingles
Densidad	7,85 g/cc	0,284 lb/in ³
Propiedades mecánicas:		
Esfuerzo último (Fu)	400 MPa	58 000 psi
Esfuerzo de fluencia	289 MPa	41 905 psi
Elongación al quiebre	23 %	23 %
Modulo de corte	80 GPa	11 600 psi
Porcentaje de materiales componentes:		
Componente	Porcentaje	
Carbono, C	<= 0,30%	
Cobre, Cu	<= 0,18%	
Hierro, Fe	99,0%	
Fosforo, P	<= 0,050%	
Sulfuro, S	<= 0,063%	

Fuente: elaboración propia.

El acero estructural A36 se produce bajo la especificación ASTM A36.

Abrigando los perfiles moldeados en acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para clavados, atornillados o soldados de la construcción de puentes, edificios y estructuras de diferente propósitos.

El acero estructural A36 o acero estructural con carbono, es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico utilizado más comúnmente en construcciones de edificios y puentes.

La aplicación común del acero estructural A36 es en la construcción y es moldeado en perfiles y láminas, usadas en edificios e instalaciones industriales, cables para puentes colgantes, atirantados y concretos reforzados, varillas y mallas electrosoldadas para el concreto reforzado, láminas plegadas usadas para techos y pisos.

El acero A36 tiene como esfuerzo de fluencia mínimo de 3 600 libras-fuerza sobre pulgada cuadrada. Además, es el único acero que puede obtenerse en espesores mayores a 8 pulgadas, aunque estas placas como excepción, sólo están disponibles con esfuerzo de fluencia mínimo inferior especificado, siendo este 3 200 libras-fuerza sobre pulgada cuadrada.

Normalmente, el material de conexión se especifica como A36, sin importar el grado de sus propios componentes primarios. El esfuerzo último de tensión de este acero varía de 5 800 libras-fuerza sobre pulgada cuadrada a 80 libras-fuerza sobre pulgada cuadrada; para cálculos de diseño se utiliza el valor mínimo especificado.

La composición química del acero A36 tiene un contenido máximo de carbono que varía entre 0,25% y 0,29%, dependiendo del espesor, la composición química debe ser la siguiente según su forma:

Tabla IV. **Propiedades del acero A36**

PRODUCTO	VIGAS*	PLACAS**			
	Espesor				
ESPESOR, IN,	TODAS	A 3/4	De 3/4 a 1 1/2	De 1 1/2 a 2 1/2	De 2 1/2 a 4
CARBÓN, Max%	0,26	0,25	0,25	0,26	0,27
MANGANESO %	0,80-1,20	0,80-1,20
FOSFORO, MAX%	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
SULFURO, Max %	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
SILICIO, %	0,40 Max	0,40 Max	0,40 Max	0,15-0,40	0,15-0,40
COBRE, Min% cuando el cobre es especificado en el acero	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
*El contenido de manganeso de 0,85 a 1,35 %, y el contenido de silicio de 0,15 a 0,40 % es requerido en vigas por encima de 426 lb/ft o 634 kg/m. ** Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo de carbono especificado, un aumento del 0,06% de manganeso por encima del máximo especificado se permitirá hasta un máximo de 1,35%.					

Fuente: elaboración propia.

Cuando el acero debe soldarse, tiene que ser utilizado un procedimiento de soldado adecuado para el grado de acero, el material de aporte debe ser compatible al uso o servicio previsto, no obstante, el acero A36 es conocido como un acero de fácil soldabilidad.

Del manual AISC, se tienen las siguientes propiedades mecánicas del acero A36:

Tipo de acero: al carbono

Designación ASTM: A36

Esfuerzo de fluencia mínimo: 3 200 libras-fuerza sobre pulgada cuadrada.

Esfuerzo último: 5 800 a 8 000 libras-fuerza sobre pulgada cuadrada.

2.4. Tipo de tratamiento anticorrosivo recomendado para torres de telecomunicaciones

De acuerdo con ANSI/TIA/EIA-222-F, en su recomendación 5.1.1.1 “materiales estructurales: los materiales deben ser galvanizados de acuerdo con ASTM A123 (sistema de inmersión en caliente). Se pueden hacer excepciones en los casos en que el galvanizado de acuerdo con ASTM A123 pudiera resultar potencialmente dañino para la estructura o sus componentes.

Algunos ejemplos incluyen las aplicaciones en que se utilizan aceros y soldaduras de alta resistencia o patentados. En estos casos se deberá especificar un método alternativo para controlar la corrosión”⁷.

Del mismo modo, el numeral 5.1.1.2 recomienda para los accesorios a utilizar que la misma debe ser galvanizada de acuerdo con ASTM A153 (sistema de inmersión en caliente) o bien ASTM B695 Clase 50 (sistema mecánico).

En la sección 5.1.1.3 recomienda el tipo de tratamiento para los cables de las arriendas, los cuales deben ser galvanizados de acuerdo con ASTM A475 o ASTM A586.

El galvanizado en caliente permite conseguir el recubrimiento con zinc o aleaciones de zinc-hierro sobre los productos de hierro y acero, mediante inmersión de los mismos en zinc fundido dentro de una pila creada para el efecto a una temperatura aproximada a los 450 grados centígrados, dependiendo del tiempo de inmersión se logra el espesor del galvanizado.

2.4.1. El espesor del recubrimiento galvanizado para el acero estructural

Para perfiles con espesor acero ≥ 6 milímetros: recubrimiento medio de 85 micrómetros (equivalente a 600 gramos por metro cuadrado) y espesor local de 70 micrómetros.

⁷ Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. *Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas*. p. 19.

Para perfiles con espesor Acero ≥ 3 milímetros hasta < 6 milímetros: recubrimiento medio 70 micrómetros y espesor local de 55 micrómetros.

2.4.2. El espesor del recubrimiento sobre los elementos roscados centrifugados

Para roscas con diámetro $d \geq 20$ milímetros: recubrimiento medio 55 micrómetros y espesor local de 45 micrómetros.

Para roscas con diámetro $d \geq 6$ milímetros hasta < 20 milímetros: recubrimiento medio 45 micrómetros y espesor local de 35 micrómetros.

Para roscas con diámetro $d < 6$ milímetros: recubrimiento medio 25 micrómetros y espesor local de 20 micrómetros.

El aspecto del recubrimiento debe estar exento de ampollas, excesiva rugosidad, zonas desnudas y gotas punzantes. Tampoco debe contener residuos del flux de galvanización.

La galvanización debe efectuarse con una calidad de zinc que permita mantener por debajo del 1,5% el nivel de impurezas, distintas del hierro y estaño, en la pila.

No son admisibles piezas que no estén cubiertas por el recubrimiento galvanizado, que se produzcan por contaminación de la superficie del acero con sustancias que no se eliminan durante los tratamientos previos de desengrase y decapado.

En el caso de pequeñas piezas, como los tornillos, tuercas, arandelas, etcétera, la galvanización deberá centrifugarse debido a su pequeño tamaño.

Bajo ningún concepto se efectuarán soldaduras después del proceso de galvanizado.

2.5. Parámetros principales que definen una torre

De la práctica, así como, de la experiencia del personal dentro del área, los siguientes parámetros son los principales para definir una torre.

Torsión en el plano horizontal, que es la rotación angular del recorrido del haz de la antena en un plano horizontal respecto a una posición correspondiente a carga sin viento en una elevación o altura de la torre especificada.

Torsión en el plano vertical, que es la rotación del recorrido del haz de la antena en un plano vertical respecto a una posición correspondiente a carga sin viento en una elevación especificada.

Desplazamiento o traslación horizontal de un punto respecto a la posición correspondiente a carga sin viento del mismo punto a una elevación especificada.

Y como se ha visto, en los tres parámetros anteriores, juega un papel muy importante:

- Velocidad de viento básica.
- Altura.
- Número de antenas de radiofrecuencia a instalar, orientaciones y sus dimensiones.
- Número de antenas de microondas a instalar, orientaciones y sus dimensiones.
- Accesorios a instalar.
- Modelaje de la torre.

2.6. Cálculo del viento en referencia a la altura

Debido a que las fuerzas provocadas por el viento son el factor crítico en una torre, en esta sección se analizó su cálculo de acuerdo a la recomendación de la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F.

La carga total de viento denominada de diseño, debe incluir la sumatoria de las fuerzas horizontales aplicadas a la estructura en la dirección del viento y la carga de viento de diseño sobre riendas y accesorios puntuales.

La fuerza horizontal (F) aplicada a cada sección de la estructura se debe calcular usando la siguiente ecuación:

$$F = q_z G_H [C_F A_E + \Sigma (C_A A_A)] \quad (Lb) \quad [N]$$

Esta fuerza no debe superar los $2q_z G_H A_G$

Donde AG es igual al área bruta de una cara de la torre en pies cuadrados o metros cuadrados.

Suponiendo que todos los accesorios, incluyendo antenas, montajes y líneas, permanecen intactos y unidos a la estructura independientemente de su capacidad de carga de viento.

La presión de viento (q_z) y el coeficiente de exposición (K_z) se deben calcular usando las siguientes ecuaciones que se diferencian dependiendo del sistema métrico a utilizar:

$$q_z = 0,00256K_zV_o^2 \text{ (libras por pie cuadrado)}$$

$$q_z = 0,613K_zV_o^2 \text{ (pascales) para } V \text{ en metros por segundo}$$

.

Y el coeficiente de exposición esta dado por las ecuaciones:

$$K_z = [z/33]^{2/7} \text{ para } z \text{ en pies o}$$

$$K_z = [z/10]^{2/7} \text{ para } z \text{ en metros}$$

$$1,0 \leq K_z \leq 2,58$$

V_o = velocidad básica del viento correspondiente a la ubicación de la estructura en millas por hora o metros por segundo.

Z = altura por encima del nivel medio del terreno hasta el punto medio de la sección en pies o en metros.

El parámetro conocido como factor de ráfaga (G_H), el mismo se calcula por medio de las siguientes ecuaciones de acuerdo con el sistema métrico empleado.

$$G_H = 0,65 + \frac{0,60}{\left(\frac{h}{33}\right)^{\left(\frac{1}{7}\right)}} \text{ para } h \text{ en pies}$$

$$G_H = 0,65 + \frac{0,60}{\left(\frac{h}{10}\right)^{\left(\frac{1}{7}\right)}} \text{ para } h \text{ en metros}$$

El valor de G_H debe estar entre $1,00 \leq G_H \leq 1,25$, esta ecuación al ser dependiente únicamente de la altura, limita a torres que tengan alturas aproximadas de 10 metros a 431 metros, fuera de este rango, se limitan las recomendaciones realizadas por la norma.

Coefficiente de fuerza de las estructuras:

Se calcula usando la siguiente ecuación para torres triangulares

$$CF = 3,4e^2 - 4,7e + 3,4$$

En donde: e es la relación de esbeltez dada por la ecuación:

$$e = (AF + AR) / AG$$

En donde:

AF: es igual al área proyectada en pies cuadrados o metros cuadrados de los componentes estructurales en una cara de la sección.

AR: es igual al área proyectada en pies cuadrados o metros cuadrados de los componentes estructurales circulares en una cara de la sección.

El área proyectada efectiva de los componentes estructurales (AE) para una sección se debe calcular a partir de la ecuación:

$$AE = D_F A_F + D_R A_R R_R \text{ (ft}^2\text{) [m}^2\text{]}.$$

Los factores de dirección de viento, D_F y D_R se determinan a partir de la tabla:

Tabla V. Factores de dirección de viento

FACTORES DE DIRECCIÓN DE VIENTO					
Sección transversal de la torre	Cuadrada		Triangular		
Dirección de viento	Normal	$\pm 45^\circ$ *	Normal	60° *	$\pm 90^\circ$ *
D_F	1,0	$1+0.75e$ (1,2 máx.)	1,0	0,80	0,85
D_R	1,0	$1+0.75e$ (1,2 máx.)	1,0	1,00	1,00
*Medidos a partir de una línea normal a la cara de la estructura.					

Fuente: Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas. p. 8.

El factor de reducción (R_R) para los componentes estructurales circulares se calcula a partir de la ecuación.

$$R_R = 0,51e^2 + 0,57$$

$$R_R \leq 1,0$$

Al calcular la relación de solidez y las fuerzas de viento, los accesorios lineales que están unidos a una cara y cuyo ancho no se extiende más allá del área proyectada normal de la cara se pueden considerar como componentes estructurales, independientemente de su ubicación, los accesorios lineales no considerados como componentes estructurales se deben incluir en el término $\sum C_A A_A$.

El coeficiente de fuerza (C_A) a aplicar al área proyectada (ft^2) [m^2] de un accesorio lineal (A_A) que no se considera como un componente estructural se determina a partir de la tabla abajo adjunta.

Tabla VI. **Coefficientes de fuerza de accesorios**

Tipo de Miembro	Relación de aspecto ≤ 7	Relación de aspecto ≥ 25
	C_A	C_A
Plano	1,4	2,0
Cilíndrico	0,8	1,2

Relación de aspecto = relación longitud total/ancho en un plano normal a la dirección del viento. (La relación de aspecto no es función de la separación entre puntos de apoyo de los accesorios lineales, ni tampoco se considera que la longitud de la sección tenga una fuerza uniforme distribuida.

Nota: para otras relaciones de aspecto se puede interpolar linealmente.

Fuente: Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas. p. 8.

La fuerza horizontal (F) aplicada a una sección de la estructura se puede asumir uniformemente distribuida con base a la presión del viento a la mitad de la altura de la sección.

En el caso de las estructuras autoportadas la sección que se considera sometida a la fuerza uniformemente distribuida no debe tener más de 60 pies o 18 metros.

En ausencia de datos precisos, la carga de viento de diseño (F_C) sobre un accesorio puntual tal como un escudo contra hielo, plataforma, etcétera. (Excluyendo las antenas de microondas / reflectores pasivos) se debe calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$F_C = qzG_H [\sum C_A A_C] \text{ (lb) [N]}$$

Donde $\sum C_A A_C$ considera todos los elementos del accesorio puntual, incluyendo todas las líneas de alimentación, ménsulas, etcétera, relacionadas con el accesorio. Al calcular la relación de solidez y las fuerzas de viento, los componentes de un accesorio puntual unidos directamente a una de las caras de la torre y que no sobresalen de la misma se pueden considerar como componentes estructurales.

La presión de velocidad (qz) se debe calcular con base a la altura de la línea del centro del accesorio.

En el caso de las estructuras reticuladas el factor de ráfaga (G_H) se debe calcular con base a la altura total de la estructura.

La carga de viento de diseño (F_C) se debe aplicar en una dirección horizontal en la dirección de viento.

Cuando el fabricante de un accesorio provee un área de placa plana equivalente con base a la revisión C de esta norma ($A_F = \frac{2}{3}A_R$), al determinar la carga de viento de diseño de placa plana equivalente se debe aplicar un coeficiente de fuerza igual a 2,0.

Si el accesorio está compuesto exclusivamente por miembros circulares se puede aplicar un coeficiente de fuerza igual a 1,8.

En ausencia de datos precisos, las cargas de viento de diseño para antenas de microondas/reflectores pasivos se deben determinar usando la tabla 7.

Para la tabla 7 aplican los siguientes comentarios:

Los valores de carga de viento se compilaron a partir de una gran variedad de fuentes. Algunos datos se basan en ensayos en túnel de viento, mientras que otros se basan en cálculos teóricos. La geometría de las antenas puede variar de un fabricante a otro; por lo tanto, se debería consultar al fabricante para obtener información precisa sobre sus productos.

Los datos para el cálculo de la fuerza de viento en antenas parabólicas (incluyendo antenas de rejilla) que se presentan, se describen en el sistema de ejes de la antena cuyo origen coincide con el vértice del reflector.

La fuerza axial (F_A) actúa a lo largo del eje de la antena. La fuerza lateral (F_S) actúa de manera perpendicular en el plano que contiene el eje de la antena y el vector de viento. El momento torsor (M) actúa en el plano que contiene F_A y F_S .

En las antenas de bocina, el origen se encuentra en la intersección del eje vertical de la antena con un plano tangente a la parte inferior del cilindro. La fuerza axial (F_A) actúa paralela al eje de la visual de la antena, la fuerza lateral (F_S) actúa perpendicular a F_A en el plano que contiene F_A y el vector de viento, el momento torsor (M) actúa en el plano que contiene F_A y F_S .

En los reflectores pasivos de placa plana el origen se encuentra en el baricentro del área de la placa.

La fuerza axial (F_A) actúa a lo largo de la normal a la placa. La fuerza lateral (F_S) actúa perpendicular a F_A en el plano que contiene F_A y el vector de viento. El momento torsor (M) actúa en el plano que contiene F_A y F_S .

En todos los casos, las magnitudes de F_A , F_S y M dependen de la presión dinámica del viento, del área frontal proyectada de la antena y de las características aerodinámicas del cuerpo de la antena. Las características aerodinámicas varían en función del ángulo del viento. Los valores F_A , F_S y M se deben calcular a partir de las siguientes ecuaciones:

$$F_A = C_A A K_Z G_H V_2^2 \text{ (libras)}$$

$$F_S = C_S A K_Z G_H V_2^2 \text{ (libras)}$$

$$M = C_M A D K_Z G_H V_2^2 \text{ (pies-libra)}$$

Donde:

C_A , C_S y M = coeficientes en función del ángulo del viento Θ

H_G = factor de ráfaga.

A = área de la abertura externa (pies cuadrados) de una antena de reflector parabólico, de rejilla o de bocina o el área de la placa (pies cuadrados) de un reflector pasivo.

D = diámetro externo (ft) de una antena de reflector parabólico, de rejilla o de bocina o ancho o longitud (en pies) de un reflector pasivo.

V = velocidad básica del viento (millas por hora).

K_Z = coeficiente de exposición para Z igual a la altura del origen del sistema de ejes coordenados.

Θ = ángulo del viento (grados).

Tabla VII. **Coeficientes para calcular fuerza de viento en paraboloides típicos sin radomo**

Ángulo del viento Θ (grados)	C_A	C_S	C_M
0	0,00397	0,00000	0,000000
10	0,00394	-0,00012	-0,000065
20	0,00396	-0,00013	-0,000097
30	0,00398	-0,00008	-0,000108
40	0,00408	0,00002	-0,000137
50	0,00426	0,00023	-0,000177
60	0,00422	0,00062	-0,000223
70	0,00350	0,00117	-0,000020
80	0,00195	0,00097	0,000256
90	-0,00003	0,00088	0,000336
100	-0,00103	0,00098	0,000338
110	-0,00118	0,00106	0,000343
120	-0,00117	0,00117	0,000366
130	-0,00120	0,00120	0,000374
140	-0,00147	0,00114	0,000338
150	-0,00198	0,00100	0,000278
160	-0,00222	0,00075	0,000214
170	-0,00242	0,00037	0,000130
180	-0,00270	0,00000	0,000000

Continuación de la tabla VII.

Ángulo del viento Θ (grados)	C_A	C_S	C_M
190	-0,00242	-0,00037	-0,000130
200	-0,00222	-0,00075	-0,000214
210	-0,00198	-0,00100	-0,000278
220	-0,00147	-0,00114	-0,000338
230	-0,00120	-0,00120	-0,000374
240	-0,00117	-0,00117	-0,000366
250	-0,00118	-0,00106	-0,000343
260	-0,00103	-0,00098	-0,000338
270	-0,00003	-0,00088	-0,000336
280	0,00195	-0,00097	-0,000356
290	0,00350	-0,00117	0,000020
300	0,00422	-0,00062	0,000223
310	0,00426	-0,00023	0,000177
320	0,00108	-0,00002	0,000137
330	0,00398	0,00008	0,000108
340	0,00396	0,00013	0,000097
350	0,00394	0,00012	0,0000065

Fuente: Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas. p. 37.

Cuando no se especifican las orientaciones azimutales de antenas ubicadas a la misma altura relativa de la estructura, se debe asumir que las antenas irradian simétricamente alrededor de la estructura.

El apantallamiento de las antenas no se debe considerar.

Las tensiones máximas en los miembros y las reacciones de la estructura se deben determinar considerando las direcciones de viento que provoquen las máximas fuerzas de viento y momentos torsores. En las estructuras reticuladas se deben considerar cada una de las direcciones de viento de la tabla abajo adjunto.

Tabla VIII. **Factores de dirección de viento**

Sección transversal de la torre	Cuadrada		Triangular		
	Normal	$\pm 45^\circ$ *	Normal	60° *	$\pm 90^\circ$ *
D_F	1,0	1+0,75e (1,2 máx.)	1,0	0,80	0,85
D_R	1,0	1+0,75e (1,2 máx.)	1,0	1,0	1,0
*Medidos a partir de una línea normal a la cara de la estructura.					

Fuente: Telecommunication Industry Association; Electronic Industry Association. Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas. p. 8.

Al calcular las máximas tensiones en los miembros y reacciones de la estructura se deben considerar cada una de las siguientes combinaciones:

$$D + W_0$$

$$D + 0,75W_1 + I$$

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Diseño y planificación de las etapas necesarias para recopilar información para diseño de la estructura

Dentro de la sección de construcción se posee una bodega de documentación en donde se almacena la información que respalda cada uno de los proyectos que se ejecutan dentro de la sección, por lo que se hizo una revisión de la documentación para definir en qué proyectos fue necesario la adquisición de torres, verificando la carga que se demandó en el momento de la creación de infraestructura.

Así mismo, por medio de entrevistas con el equipo de trabajo que conforma la sección de construcción, se ha detectado que muchos proyectos no tienen documentación de respaldo por las siguientes razones:

Proyectos que no fueron documentados.

Documentación que no fue debidamente almacenada.

Documentación que se extravió durante los diferentes cambios de ubicación que ha tenido la bodega.

Documentación incompleta y que no aporta datos a los objetivos de la práctica.

Para apoyar la práctica, se elaboró el siguiente cuadro con datos que se consideran necesarios:

Tabla IX. **Tabla de verificación de datos**

ID del sitio	Año de construcción del sitio	Altura de la torre	Velocidad de viento básico	Numero de antenas de TX instaladas	Existe memoria de cálculo de la torre

Fuente: elaboración propia.

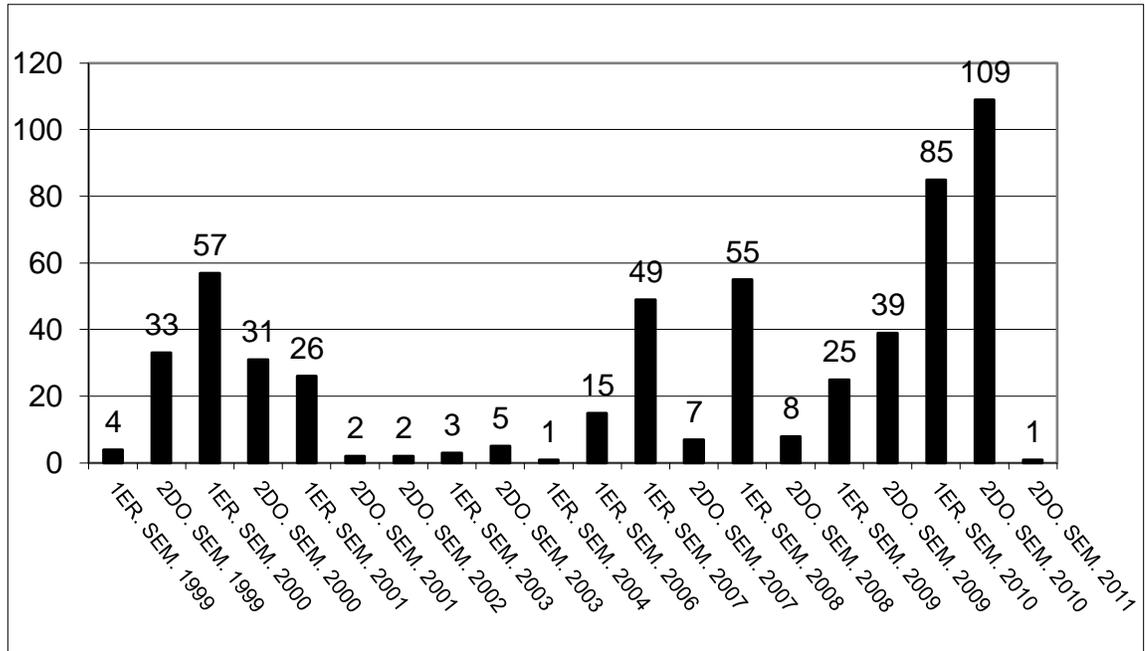
De la investigación dentro de la bodega se obtuvieron los siguientes resultados:

Archivos totales consultados: 1 215

Proyectos con documentación completa a los objetivos: 557

Con los datos recabados se elaboraron gráficas de los proyectos que están debidamente documentados por semestre desde 1999.

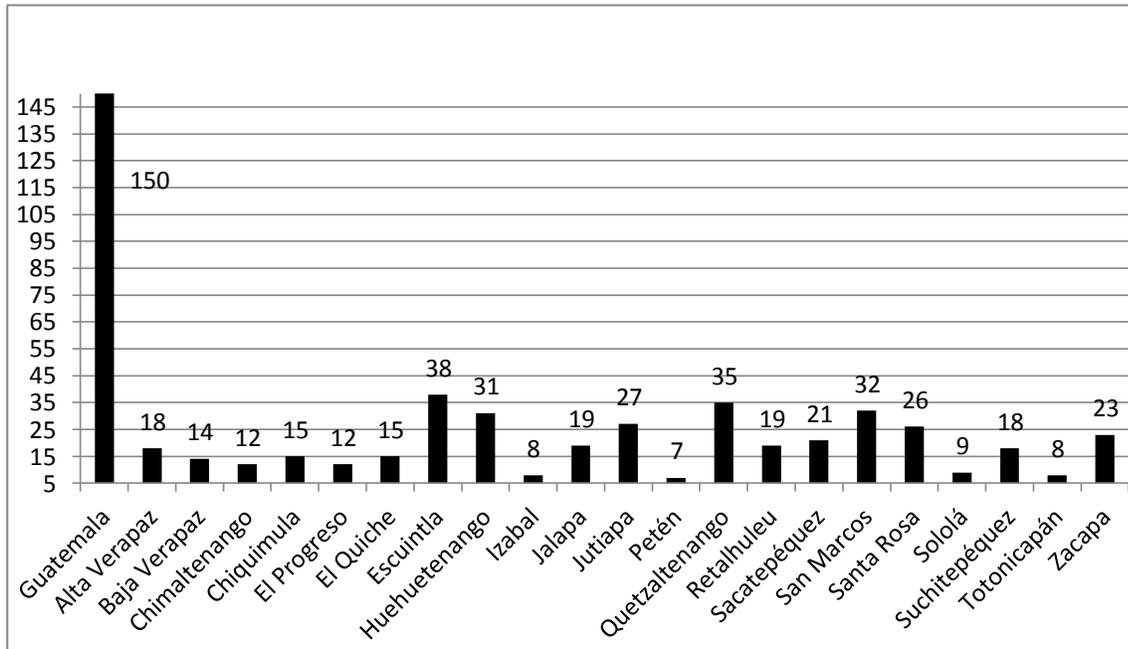
Figura 6. **Sitios construidos por semestre**



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica de la figura 6, se observa que la construcción de infraestructura no ha sido constante en el tiempo, siendo el primer semestre de 2004 y el primer semestre de 2011 en donde menos se desarrolló infraestructura a diferencia del 2010 en donde el despliegue de sitios de telecomunicaciones es igual a 194 nuevos sitios, lo que implica 194 torres de diferentes configuraciones en un corto tiempo para su implementación.

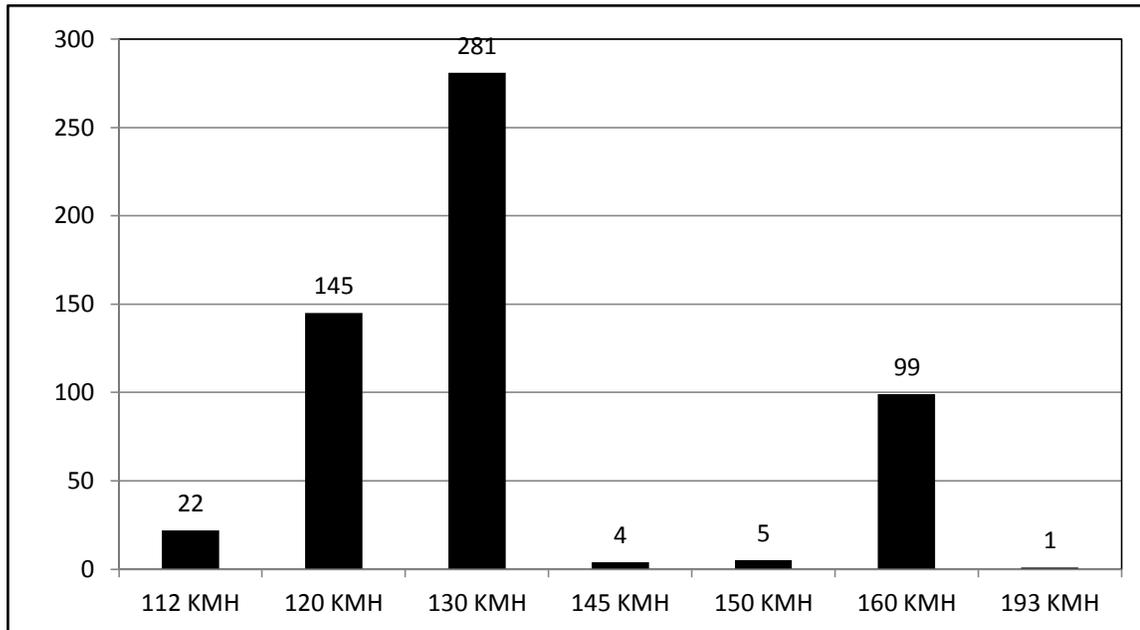
Figura 7. **Distribución de sitios por departamento**



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica de la figura 7, se observa que la mayor concentración de torres está en el departamento de Guatemala, con un total de 150 y esta tendencia está de acuerdo con la densidad poblacional de la ciudad de Guatemala y sus municipios vecinos como: Mixco, Villa Nueva, Villa Canales, Chinautla, etcétera.

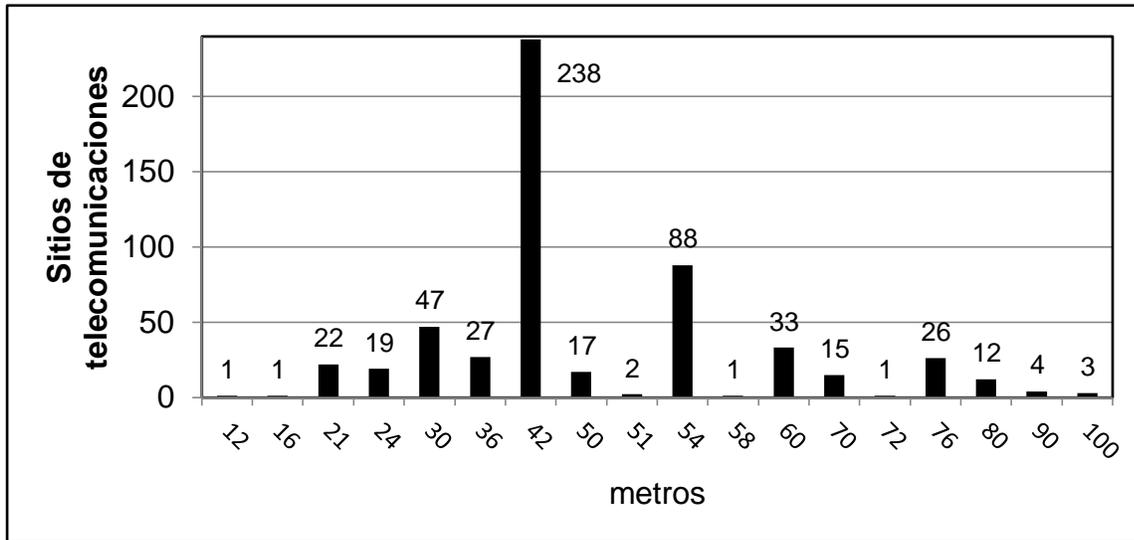
Figura 8. **Cantidad de torres implementadas y su velocidad de viento básica**



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica de la figura 8, se observa que del universo analizado y de la información existente el 30% de las torres están subdimensionadas de acuerdo a la recomendación de AGIES sobre la velocidad de viento básica para la República de Guatemala, aproximadamente 50% cumplen con la recomendación y existe un 20% que está sobredimensionada.

Figura 9. **Cantidad de sitios versus su altura**



Fuente: elaboración propia.

De la gráfica de la figura 9, se ve que la torre con altura de 42 metros es la más utilizada, seguida por las de altura de 54 metros, dentro de un espectro de alturas que va desde los 12 metros hasta los 100 metros.

Con respecto a la cantidad de antenas de microondas y radiofrecuencia solicitadas en el diseño inicial de las torres analizadas se encontró que la mayor parte de sitios fueron requeridos con un juego de 3 antenas de radiofrecuencia en la cota nominal y una antena de microondas de 60 centímetros, 2 metros por debajo de la cota nominal.

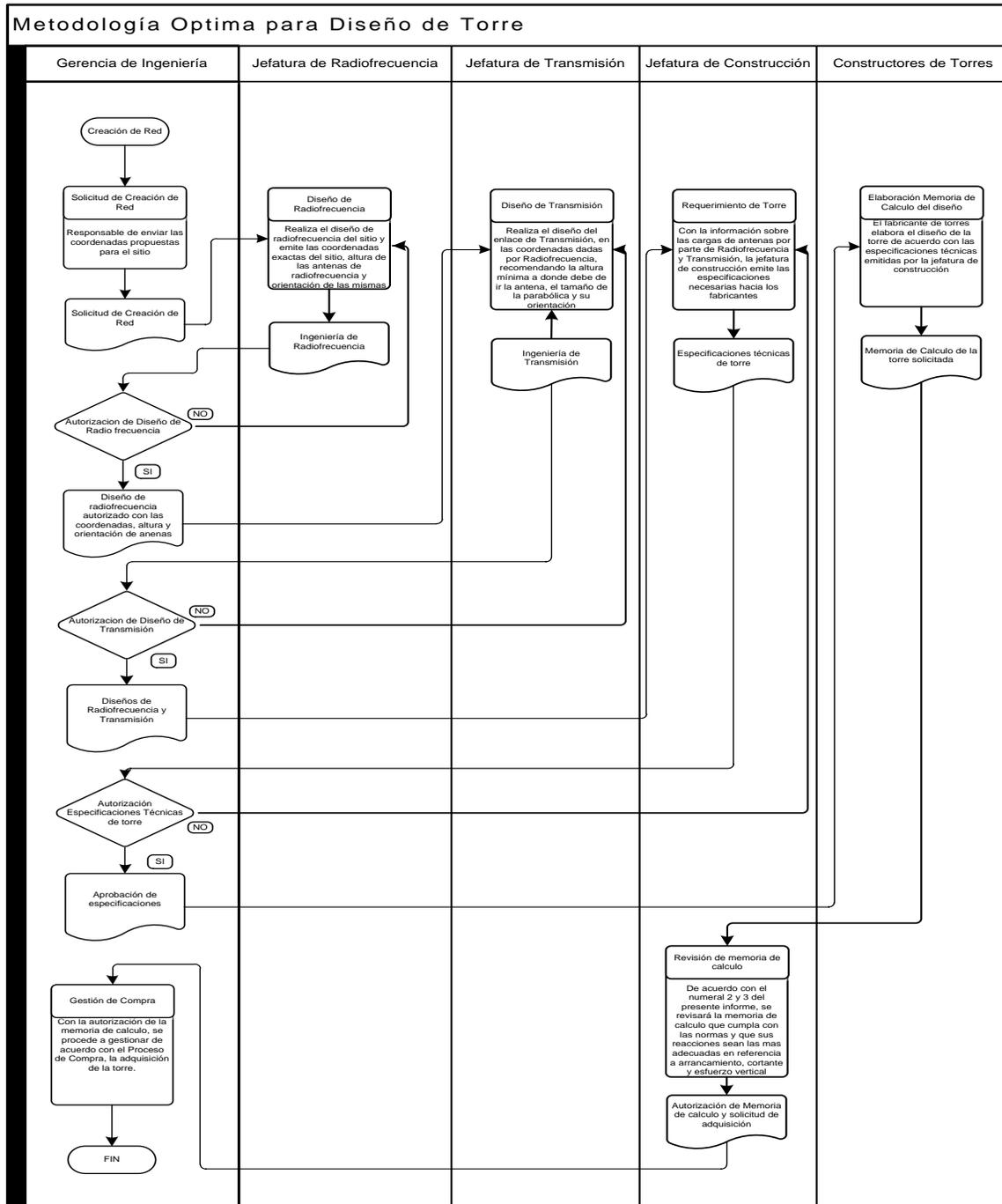
3.2. Metodología óptima para diseño de torre

De la información producto de la investigación, de la experiencia desarrollada en campo, de las entrevistas con el personal en el área y de las recomendaciones de los códigos y normas internacionales, se puede crear la siguiente metodología para el diseño de una torre que cumpla con los factores de seguridad requeridos por las normas y códigos para la carga solicitada por los usuarios de las mismas, con la mejor relación de costo, tanto en su peso de acero como por el tamaño de cimentación y que representa el segundo rubro de costo dentro de la construcción de un sitio.

El proceso sintetizado de la forma en que se explica a continuación, brinda la oportunidad de analizar la participación de cada sección y su rol dentro de cada etapa, así como, el proceso de autorización de los resultados de dichas etapas, autorización necesaria para garantizar que la organización esté enterada en todo momento del avance del proyecto y en consenso se asuma toda la responsabilidad de la toma de decisión necesaria para las inversiones altas que requiere este tipo de proyecto.

El siguiente diagrama de flujo indica los pasos a seguir.

Figura 10. Diagrama de flujo de proceso optimizado de diseño de torre



Fuente: elaboración propia.

Con el formulario de solicitud de creación de red, se están dando las coordenadas oficiales del sitio, el cual de acuerdo con los estudios de mercado del área comercial es un mercado potencial, un mercado mal cubierto o una oportunidad estratégica, en cualquier caso, es el área de radiofrecuencia la encargada de realizar por medio de sus herramientas de predicción y sus mapas actualizados de topología y topografía, así como, distribución demográfica y definir cual es la mejor posición dentro del área objetivo para instalar un sistema de transmisión de señal celular.

El área de radiofrecuencia se presenta a la cadena de autorizaciones, representado en este caso por la gerencia de ingeniería, el diseño de propagación para su evaluación y autorización si el mismo ofrece la cobertura que los requerimientos del área comercial especifican.

Si se autoriza el diseño, debe contener las coordenadas finales del sitio o donde se instalará la torre, la altura, orientaciones y especificación de las antenas.

Con la información dada por el Área de Radiofrecuencia, el Área de Transmisión evaluó la ruta de comunicación que se necesitará para interconectar este nuevo sitio al resto de la red por medio de un enlace de microondas, para realizar esto, verifica la posible línea de vista hacia otro sitio ya existente en el cual se conectará la comunicación que genera el equipo de telecomunicaciones hacia la central telefónica, necesaria para realizar la interconexión hacia el otro usuario participante en la comunicación.

Del paso anterior se pueden dar los siguientes casos: el primero es que sí exista línea de vista hacia el nuevo sitio, con lo que el área de transmisión debe evaluar la altura a la que estará instalada la antena de microondas en la torre.

De esta evaluación puede ser necesario sobrepasar la altura a la que recomienda el área de radiofrecuencia las antenas de comunicación celular o de radiofrecuencia, con lo cual, la altura que dictamine el área de transmisión será la altura que se debe tomar para el diseño de la torre, la que sea mayor entre radiofrecuencia y transmisión, esa será la altura de diseño de la torre.

El segundo caso es que no exista línea de vista hacia una torre de la red actual y sea necesario construir un repetidor que únicamente se utilizará para repetir la señal de este nuevo sitio hacia el resto de la red, para este caso, únicamente con la ingeniería de transmisión se puede iniciar el diseño de la torre, aunque se debe consultar al área de RF si el posible punto de repetición puede servir para cubrir con señal celular alguna población o reforzar la que se tiene o se tendrá con el nuevo sitio, esto con miras a dejar dimensionada la torre para futuras expansiones o nuevos servicios.

El diámetro de la antena de microondas depende de la distancia del enlace que se debe establecer entre los sitios y pueden ir desde una antena de 30 centímetros de diámetro a 2 antenas en la configuración denominada diversidad de espacio de 2,4 metros.

En esta última configuración, ambas antenas deben tratar de instalarse lo más cercano a la parte más sólida de la torre que son los primeros montantes.

Si por temas de línea vista, estas se instalaran en la cota nominal o la parte más alta de la torre, la robustez de la torre y el tamaño de la cimentación se incrementarán así como, los costos por construcción.

Con el diseño de microondas autorizado, serán enviados al área responsable del diseño y construcción de los sitios de telecomunicaciones que en este caso es el área de construcción.

Es aconsejable que el área de construcción convoque a una reunión al área de transmisión y radiofrecuencia, así como, a las áreas operativas para determinar la precisión de las cargas de antenas, el pronóstico de más antenas en la misma torre y cualquier carga tanto de viento como de peso que actuará sobre la torre, debe llenar durante esta sesión el anexo 1.

El paso anterior es la base para el diseño de la torre y permitirá especificar correctamente la misma, dándole a los proveedores de torres un marco bien limitado para el diseño a presentar, con esto se evita la práctica del proveedor en donde tiene alguna torre de otro proyecto en bodega o que se encuentra producción con una torre similar y por no detener su cadena de producción, ofrece una torre ya sea sobredimensionada o subdimensionada pero que cumple con la altura solicitada.

Por lo regular, se piensa que el tener una torre sobredimensionada al mismo precio que la torre exacta se está ganando un buen trato, lamentablemente no se toma en cuenta que este ahorro lo pagará en una cimentación más grande que la necesaria.

El anexo 1 puede servir también como documento de solicitud hacia los proveedores de torres, formando parte de las condiciones de solicitud de cotización que se deben emitir hacia los diversos proveedores de torres.

Con estas especificaciones autorizadas por la cadena de autorización de la empresa, se publican las mismas hacia los proveedores para que diseñen una torre que pueda cumplir con dichos requerimientos, el tiempo promedio entre la recepción de la solicitud y la devolución del diseño a verificar está comprendido entre los 5 a 10 días hábiles.

Para facilitar el trabajo de revisión de los diseños, se debe solicitar que todos trabajen en el mismo programa de computación en la medida de lo posible, a la fecha, el programa que tiene un formado de buena presentación es el Risa Tower versión 5, aunque por los costos de esta herramienta no se puede ser inflexible en utilizar otra diferente.

Los proveedores deben presentar la memoria de cálculo para evaluar que el diseño se realizó de acuerdo con las especificaciones emitidas y el cuadro de reacciones debe ser parte fiel del mismo.

Es importante que la memoria de cálculo sea avalada por un profesional de las estructuras con maestría en este campo para tener un adecuado respaldo de los cálculos.

En primer lugar se debe observar la velocidad de viento básica para la que se hizo el diseño.

Es importante recordar que de acuerdo con las normas estructurales de diseño recomendadas para la República de Guatemala de AGIES en el NT5 capítulo 6, la velocidad de viento básica mínima debe ser de 130 kilómetros por hora y la misma se debe revisar para áreas costeras en donde se puede incrementar debido a posibles tormentas o vientos huracanados.

En la memoria de cálculo debe venir descrita la velocidad de viento básica que se solicita en el anexo 1.

La altura de la torre debe corresponder a lo reportado en el anexo 1, a manera de comentario, debido a las limitantes de fabricación de las formas de acero las cuales muchas veces vienen en pies, hay una cota entre la medida solicitada y lo que la memoria de cálculo reporta, la cual debe ser mínima y no sobrepasar los 10 centímetros por cada tramo.

Dentro de la memoria debe venir el cuadro de cargas con todas las cargas reportadas en el anexo 1, incluyendo los cables y cualquier otro accesorio reportado, debe verificarse tanto la altura a la que se instalarán dichas cargas, su orientación y el tamaño de las mismas.

Del paso anterior se tendrá la seguridad que cuando se corran los escenarios de vientos recomendados por la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F, la torre será sometida a sus peores escenario y la rotación horizontal por cada tramo debe ser de acuerdo con el numeral 6, párrafo 6.1.2.2 siendo como máxima rotación de la torre un ángulo de 5 grados, el cual, para un enlace de microondas con antena instalada en la cota nominal de la torre lo sacaría de servicio por pérdida de linealidad hacia la antena lejana del enlace pero no colapsaría la estructura.

De acuerdo con el numeral 6 y párrafo 6.1.2.2 la rotación horizontal entre dos ejes verticales no debe sobrepasar 0,5 grados por cada 3,05 metros de altura vertical.

El cuadro de reacciones máximas de la tabla 1 del presente informe, debe venir dentro de la memoria de cálculo si la misma fue realizada con el programa de computadora Risa tower, si no, debe venir uno similar o en última instancia, se le debe solicitar al proveedor que elabore uno similar o igual.

Este cuadro permitirá hacer comparaciones sobre qué diseño, a similares condiciones de carga, viento básico, escenarios de dirección de viento y cualquier otra condición reportada en el anexo 1, presenta las reacciones más convenientes de acuerdo a:

Reacción vertical ascendente: la cual se ejerce en los montantes principales de la torre producto de la fuerza que se forma por las áreas expuestas de la torre, sus accesorios y equipos perpendiculares al vector de viento y que para el sistema completo es un momento con su centro en el eje que forman los otros dos montantes y en un plano paralelo al del suelo.

Esta fuerza es neutralizada por el peso de la cimentación y el ángulo de fricción interna del suelo en donde está cimentado el montante, esto último en menor porcentaje, pero es maximizado por el diseño de la forma de la cimentación.

Al ser el peso de cimentación la fuerza inversa a la del arrancamiento y el diseño de la misma tanto en forma como en tamaño directamente proporcional, se tiene que entre menor es la fuerza de arrancamiento, menor es el tamaño de la cimentación y por lo tanto, menos inversión financiera en concreto armado.

Reacción vertical descendente o fuerzas de hundimiento: el máximo es la sumatoria del peso de la estructura, accesorios y equipo instalado más la reacción que se forma debido al volteo provocado por la exposición de las áreas de la torre, accesorios y equipos al vector de viento básico, es la fuerza contraria ejercida en el montante/los montantes contiguos a donde se ejerce la reacción vertical ascendente.

Esta fuerza de hundimiento es contrarrestada por el producto de la capacidad soporte del suelo en donde se cimentó y el área de contacto de la cimentación con el suelo.

Por lo que entre más grande es esta reacción y a igual capacidad soporte del suelo, más grande debe ser el área que la cimentación debe cubrir, esto se puede lograr un tanto por el diseño de la forma o por el mejoramiento de la capacidad soporte del suelo, ambos procesos representan costos extras.

Reacciones horizontales en X y Y: estos esfuerzos cortantes son trasladados a la cimentación por medio de los pernos de anclaje, siendo esta la interfaz de transferencia de esfuerzos entre la torre y su cimentación.

Entre más grande sea el módulo del esfuerzo, mayor deberá ser la dimensión de la cimentación para que los pernos no la destruyan en los laterales, por lo que entre más grande es el módulo del mismo, mayor será la dimensión de la misma.

A continuación, se comparará el diseño de la torre de la tabla 1 con un modelo similar a igual condición de cargas y velocidad de viento.

De acuerdo a la tabla 1, la máxima fuerza de hundimiento es 457 081 Newton, la fuerza de arrancamiento es 374 251 Newton y el cortante máximo es de 56 546 Newton.

Se analiza una torre similar que tiene las siguientes reacciones: fuerza máxima de hundimiento: 291 868 Newton, fuerza de arrancamiento es igual a 253 443 Newton y el cortante máximo es de 34 972 Newton.

Como se observa, la segunda torre es más eficiente para trasladar las cargas hacia la cimentación con igualdad de condiciones, por supuesto, las diferencias consisten básicamente en la apertura en la forma de modelaje de la torre, mientras una es más esbelta y pasa todas las reacciones a la torre, la otra tiene una arquitectura diferente que permite que los esfuerzos estén mejor balanceados.

Por ejemplo, la primera torre tiene un ancho basal de 6,04 metros, mientras que la torre más eficiente su ancho basal es de 4,66 metros, otra diferencia que se encuentra es que la primera torre está construida con el acero de acuerdo a Institute of Steel Construction (AISC), mientras que la segunda torre, el acero es de origen chino con especificaciones diferentes a las del AISC.

Si se estuviera en el proceso de selección para la compra de una torre, la segunda torre analizada conviene desde el punto técnico debido a que la cimentación será más pequeña que la de la torre número uno, ahora, en referencia al precio, habría que hacer una comparación entre el posible descuento que se dará en la torre uno y ver si se compensa con el ahorro en concreto armado que se tendría de la torre dos.

Dentro de la misma memoria de cálculo se puede observar la especificación del acero, como en el ejemplo anterior de la torre 2 en donde el acero no tiene la especificación AISC, pero que la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F acepta bajo el condicionante que el fabricante debe presentar estudios que avalen los valores de los índices de esfuerzo último y límite de fluencia.

Se recomienda enviar a realizar ensayos de probetas del acero a un laboratorio independiente, en este caso la Universidad de San Carlos de Guatemala y su Centro de Investigaciones de Ingeniería en su sección de Metales y Productos Manufacturados puede realizar estos ensayos, generando un informe respaldado por profesionales que avalan lo descrito en el mismo.

En la misma memoria de cálculo se pueden encontrar las dimensiones y los pesos de los montantes, de los elementos transversales, de las ménsulas y todos los accesorios que conforman la torre, de acá puede salir otro indicador para la toma de decisión sobre el costo de la torre.

Por ejemplo, la torre de la figura 1, tiene un peso total de 7 072 kilogramos o su equivalente a 7,8 toneladas.

Si se divide el peso total dentro del precio ofertado de la torre, se obtendrá el precio que se está pagando por acero maquinado, midiendo a todos los torreros por medio de esta relación, se puede determinar qué empresa es más eficiente en su relación quetzales / kilogramo.

El costo del acero con respecto al tiempo ha bajado con fluctuaciones que no permiten tener un histórico que sirva de parámetro para establecer el costos de acero maquinado en referencia a otros años.

Por lo anterior, este indicador para la toma de decisión debe realizarse puntualmente entre los oferentes a la convocatoria de ofertas de cada caso y entre ellos, hacer la comparación con esta relación.

La información sobre el tipo de electrodo a utilizar se debe tomar en cuenta que el límite de fluencia no sea menor al límite de fluencia del acero a unir, el cual, en la memoria de cálculo analizada se especifica como ER 70 S – 6 y que en Norma AWG debe ser equivalente al E7018 el cual brinda un material de aporte con límite de fluencia de 70 PSI, se puede utilizar en todas las posiciones de soldadura, con bajo hidrógeno y hierro al 25%.

3.3. Creación de listados de condiciones para apoyar a la recopilación de información

Los listados de condiciones creados para la recopilación de información que servirá de base para definir el diseño se agregan como anexo 1 al presente informe.

3.4. Creación de documento de referencia para la metodología de optimización

El documento de referencia será el presente informe el cual será entregado a la subdirección de la empresa para que por su medio se implemente la metodología.

Este informe fue elaborado de forma que sea de fácil comprensión para las personas que utilicen aun cuando se han suprimido los americanismos propios de la industria, se ha hecho la descripción previa de cada uno de los términos antes de usarse para que sea fácilmente reconocible el termino.

Aun cuando esta práctica fue realizada dentro de la empresa Telefónica Móviles Guatemala como respuesta a una necesidad puntual de optimizar los recursos, el mismo fue estructurado y elaborado de tal manera que sea extensible a otras empresas.

4. FASE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

4.1. Capacitación sobre medidas de seguridad para trabajar dentro de estructuras metálicas

Aún cuando muchas pólizas de seguros obligan al uso de equipo de seguridad para trabajos en alturas, como por ejemplo, la limpieza de ventanas en edificios altos, algunas contienen cláusulas como el que sí durante algún accidente el empleado muere y no estaba usando el equipo de seguridad industrial, dicho evento puede ser considerado como suicidio y la aseguradora no está obligada a cubrir la póliza, por lo que es recomendable revisar los contratos firmados con las aseguradoras y determinar cuál es la política establecida para cada empresa en particular.

Lo anterior es sólo uno de los problemas que enfrenta el personal que participa dentro de las actividades que se llevan a cabo en una torre, desde la instalación, el mantenimiento correctivo o preventivo hasta su desinstalación, así las personas que eventualmente pueden ser lastimadas por algún incidente causado con caída de objetos desde la torre, llámese vecinos, transportistas de equipos o los supervisores de mantenimiento del equipo que se instala en el espacio adyacente a la torre.

Para la capacitación se dividió en:

4.1.1. Orientada a personal que trabaja en la torre

El siguiente contenido se desarrolló para brindar las medidas de seguridad al personal que trabaja sobre la torre y que forman parte de los equipos de operación y mantenimiento, instaladores, auditoría y personal de radiofrecuencia o transmisión.

Con la presente capacitación, se cubrió el objetivo de concientizar a los usuarios sobre los mecanismos de seguridad preventivos que existen para evitar lesiones cuando se realizan los trabajos dentro de la torre.

Se hace énfasis en que un buen plan de las actividades a realizar en la torre es de vital importancia antes de iniciar el ascenso a la misma, sabiendo a qué altura se va a trabajar, en qué cara de la torre se trabajará, qué tipo de actividad se desarrollará, permite, primero, saber si la torre tiene todos los accesorios necesarios y evaluar visualmente si la torre presenta algún problema que no permite instalar o realizar las actividades que se desarrollarán.

Adicionalmente, permite trazar la ruta a seguir para la ascensión a la misma, la secuencia de actividades, prever las acciones correctivas a posibles contingencias o eliminar actividades que no contribuyen al éxito de la operación a realizarse, estimar tiempo de estadía sobre la torre y asegurar que se cuenta con todos los recursos necesarios, entre ellos, agua pura para evitar la deshidratación en climas cálidos o contar con ropa abrigada en climas en donde el frío puede entumecer el cuerpo después de una corta exposición.

De la recopilación de información, se llegó al listado básico de equipo y herramientas que se deben utilizar, los cuales se presentan a continuación:

- Cinturón de seguridad con los siguientes accesorios:
 - Soporte frontal para carro de línea de vida.
 - Arnese de seguridad con amortiguadores de caídas.
 - Ganchos a cada lado de la cintura para insertar arneses adicionales.
 - Gancho en la parte trasera para insertar bolsa de herramientas.
- Botas con suela antideslizante.
- Casco.
- Guantes de tela con labrado antideslizante en la palma de la mano.
- Camisa de manga larga.
- Pantalón de lona.
- Anteojos claros de tipo industrial.
- Bolsa para herramientas con mecanismo de aseguramiento en torre.
- 2 cabestrillos.
- Radio de banda corta u otro medio de comunicación con carga de batería para 8 horas de uso continuos.

Unidad 1:

- Plan de trabajos a desarrollar en la torre antes de escalar.
- Inspección visual sobre el estado de la torre y sus accesorios.
- Inspección de los mecanismos de seguridad de la torre.
- Verificación e inspección equipo de seguridad industrial para escalar torres.
- Otros accesorios necesarios para trabajar en torre.

- Verificación del clima y otras condiciones meteorológicas.
- Distribución de personal al momento de escalar.
- Comunicación hacia otras personas notificando la hora de ascenso y el tiempo estimado de estadía en la torre.

Unidad 2:

- Cómo usar los mecanismos de ascenso de la torre con el equipo de seguridad personal.
- Uso de las plataformas de descanso dentro de la torre.
- Formas de asegurarse dentro de la torre.
- Formas de asegurar la herramienta al momento de realizar los trabajos.
- Formas de asegurar el material a utilizar en los trabajos a ejecutar dentro de la torre.
- Comunicación hacia el personal en tierra de cualquier incidencia durante el desarrollo de las actividades.

Unidad 3:

- Preparación para el descenso.
- Verificación de herramienta y material sobrante.
- Integración al sistema de seguridad contra caídas de la torre y el equipo de seguridad industrial.
- Aviso a personal en tierra del descenso.
- Secuencia de descenso.

Unidad 4:

- Medidas de protección de personal en tierra
- Equipo de seguridad industrial para el equipo que permanece en tierra

4.1.2. Personal que supervisa los sitios

Para el personal que supervisa los sitios como parte del mantenimiento preventivo o correctivo, se recomienda no escalar la torre si se encuentra sola y por lo regular si encuentra alguna incidencia en la torre se prefiere que desde el suelo verifique por medio de binoculares y si el resultado confirma que se debe ascender, la recomendación es que se conforme un equipo de trabajo y se siga la recomendación del punto 4.1.1.

La capacitación hacia el personal que supervisa los sitios está orientada a asegurarse de no sufrir lesiones o daños físicos como resultado de su cercanía con la torre y no precisamente por ascender a ella como parte de los trabajos a desarrollar.

En la primera parte, la evaluación visual a la torre y sus accesorios debe efectuarse en búsqueda de que alguno no presente señal que haga prever una posible caída de algún elemento integrante de los mismos o de los equipos que están instalados en ellos.

Verificar que la torre cuente con todos sus mecanismos de protección contra descargas electroatmosféricas, su señalización para la aeronáutica civil, sus protecciones contra corrientes inducidas en la torre.

Esto es un trabajo rutinario y se recomienda que forme parte de las verificaciones a realizar durante las supervisiones a sitios, asegurando por este medio que el vecindario no sea expuesto a algún incidente por desprendimiento de alguna parte de la torre, sus accesorios o el equipo instalado en ella.

Unidad 1:

- Partes principales que conforman una torre.
- Mecanismos de seguridad contra descargas electroatmosféricas.
- Balizamiento.
- Acción del viento sobre la torre.
- Acción del viento sobre los equipos instalados en la torre.
- Verificación visual de elementos de la torre, sus accesorios y el equipo instalado.

Unidad 2:

- Uso del equipo de seguridad industrial

4.2. Capacitación sobre el análisis de la memoria de cálculo de las estructuras metálicas

Como resultado de la información obtenida y el análisis que se hizo de los códigos y reglamentos, se desarrolló la capacitación sobre la memoria de cálculo y la forma de leer la información en ella contenida y que es el resultado de la parte de diseño.

La memoria de cálculo consolida todo el trabajo realizado, es el punto donde se puede asegurar que antes que entre a producción una torre, la misma cumple con todas las especificaciones que se emiten, que el ingeniero estructural realice todos los cálculos basados en ellos, que cumpla con la velocidad de viento mínimo para la República de Guatemala, etcétera.

El principal objetivo de esta capacitación es que el personal tenga la capacidad de verificar que todas las especificaciones emitidas, estén claramente tomados en cuenta dentro de la memoria de cálculo.

Dentro del alcance de esta capacitación no están los criterios necesarios para realizar los cálculos estructurales, debido a que como ya se ha mencionado, estos se realizan por medio de programas de computadora, los cuales dependen en gran manera de los datos de entrada y de criterios que utiliza el ingeniero estructural basado en su experiencia y su capacitación sobre estructuras, desde el punto de vista holístico del sistema, incluyendo el suelo, la cimentación y la torre en conjunto con los equipos instalados en el peor escenario de viento.

Por lo que un análisis estructural completo está fuera del alcance de esta capacitación y se recomienda que se busque el apoyo de un ingeniero estructural si se requiere un análisis completo.

Por lo anterior, se desarrolló el siguiente contenido:

Unidad 1:

- Importancia de las especificaciones de carga, altura y diseño de la torre.
- Introducción a la Norma ANSI/TIA/EIA-222-F.
 - Velocidad de viento básica
 - Definición de carga muerta y carga viva
 - Carga de viento
- Análisis de las normas estructurales de diseño recomendadas para la República de Guatemala AGIES NR5, capítulo 6.
- Revisión del manual de acero de construcción “Load & Resistance Factor Design”.

Unidad 2:

- Resolución de dudas sobre el anexo 1: especificaciones para torre.
- Verificación de las cargas en la torre dentro de la Memoria de cálculo con el programa Risa tower.
- Revisión de los escenarios de viento en la memoria de cálculo, así como, las alturas y direcciones de las antenas especificadas.
- Revisión del tipo de acero utilizado en los montantes y en los elementos transversales de la torre y sus propiedades de acuerdo con el manual de acero de construcción.
- Dimensiones de la base de la torre.

Unidad 3:

- Verificación de las reacciones de la torre reportadas por el cálculo estructural.
- Verificación del mejor diseño propuesto por los proveedores.

4.3. Entrega de documento descriptivo de la metodología de optimización a la Gerencia de Ingeniería

Al finalizar la práctica, se entregará copia del presente informe a la subdirección de ingeniería, dejando a su criterio la implementación del mismo.

Aun cuando el informe describe la metodología a emplearse dentro de Telefónica Móviles Guatemala, la misma puede extenderse a otras empresas de similar actividad cuidando de hacer los cambios necesarios para lograr implementarlo.

CONCLUSIONES

1. Consolidar toda la información sobre las condiciones climáticas, requerimientos de los usuarios, normas y experiencia de los involucrados en la toma de decisión en un documento de referencia, apoyan a la selección de una torre que cumpla de mejor forma con los objetivos de carga por las que fueron creadas bajo normas nacionales e internacionales.
2. Es posible optimizar los recursos empleados en la creación e instalación de una torre por medio del diseño y asegurar el desempeño de la misma bajo escenarios críticos.
3. Por medio del galvanizado en caliente de las piezas que conforman la torre se alarga la vida útil y se reducen los costos por mantenimiento preventivo debido a corrosión.
4. El tamaño de la cimentación que soporta la torre es proporcional a los esfuerzos máximos que se generan en la misma, conocer estos esfuerzos ayudan a validar el mejor diseño mecánico.
5. El acero a emplear en el diseño y producción de una torre se encuentra normado internacionalmente, es necesario verificar que para el cálculo estructural de la torre, el mismo cumpla con lo descrito por las especificaciones.

6. Dotar al personal que trabaja sobre torres de telecomunicaciones del equipo de seguridad industrial para prevenir cualquier incidente producto de alguna caída.
7. Planificar los trabajos y obtener todos los materiales y accesorios antes de ascender a una torre debe ser una práctica de seguridad industrial común dentro de los equipos de mantenimiento, operación o implementación.
8. Revisión de los cuadros a completar regularmente debido a la evolución de la tecnología.

RECOMENDACIONES

1. Que todos los usuarios de la torre participen en la definición de cargas.
2. Uso de las normas para el diseño de torres, tanto nacionales como internacionales de acuerdo a las condiciones climáticas de Guatemala.
3. Realizar comparación de esfuerzos entre los oferentes de torres para determinar el diseño con mejor desempeño.
4. Verificar que todos los oferentes de torres presenten diseños basados en las especificaciones publicadas.
5. Implementar la metodología dentro del Departamento de Ingeniería.
6. Utilizar el anexo 1 para la recopilación de la información de cada uno de los usuarios de la torre.
7. Proveer a todos los trabajadores de los accesorios necesarios para trabajar dentro de una torre.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Institute of Steel Construction. *Load and Resistance Factor*. Estados Unidos: AISC, 1994. 1 993 p.
2. American National Standard. *ANSI/TIA/EIA-222F-1996* Estados Unidos: ANSI, 1996. 87 p.
3. KIDDER, Frank E; PARKER, Harry. *Manual del arquitecto y del constructor*. México: Hispanoamericana, 1985. 2 363 p.
4. PYTEL, Andrew; SINGER, Ferdinand L. *Resistencia de materiales*. 4a ed. México: HARLA, 1995. 584 p.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones para torre

ESPECIFICACIÓN DE TORRE		
Nombre del sitio		
dirección catastral		
	latitud	longitud
Coordenadas		
Fecha		
DATOS PARA DISEÑO DE TORRE		
Estándar Americano EIA / TIA 222-F		
Otro Estándar Especificar		
UTILIZACIÓN DE TORRE		
	Radio Base	
	Transmisión	
	Repetidor	
	Otro Uso	
TIPO DE TORRE REQUERIDA		
	Torre Auto Soportada TRIANGULAR	
	Torre Auto Soportada CUADRADA	
	Torre de Tirantes o Venteada	
	Monopolo Autosoportado	
	Monopolo Atirantado	
	Poste de concreto	
	Poste de acero	

Continuación del anexo 1.

LUGAR DE INSTALACIÓN	
SOBRE TIERRA	
SOBRE CIMIENTO	
SOBRE TERRAZA	
DATOS DE VIENTO Y ALTURA	
ALTURA DE LA ESTRUCTURA	
VELOCIDAD DE VIENTO A CALCULAR MPH	
SISTEMA DE LUCES DE NAVEGACIÓN	
LUZ DE OBSTRUCCIÓN EN LA PUNTA OL-1	
LUZ DE OBSTRUCCIÓN EN LA PUNTA OL-2	
LUZ DE OBSTRUCCIÓN EN LA PUNTA BEACON	
LUZ EN MEDIO DE LA TORRE 0L-1	
CAJA DE CONTROL SIN ALARMAS	
CAJA DE CONTROL CON ALARMAS	
CAJA DE CONTROL SIMPLE (Caja, Fococelda y Base)	
ENTUBADO DE CABLE DE ILUMINACIÓN	
CAJAS DE UNIÓN PARA ENTUBADO	
CABLE TSJ PARA SISTEMA DE ILUMINACIÓN	
SISTEMA DE PARARRAYOS Y ATERRIZAMIENTO	
PARARRAYOS MARCA PARRES	
PARARRAYOS PUNTA FRANKLIN	
CABLE DE PARARRAYOS 2/0	
CABLE DE PARARRAYOS 3/0	
CABLE DE PARARRAYOS THOMPSON	
CAJAS DE REGISTRO PARA ANILLO DE TIERRAS (INDICAR CANTIDAD)	
PLACAS DE ATERRIZAJE EN LA TORRE (INDICAR CANTIDAD)	

Continuación del anexo 1.

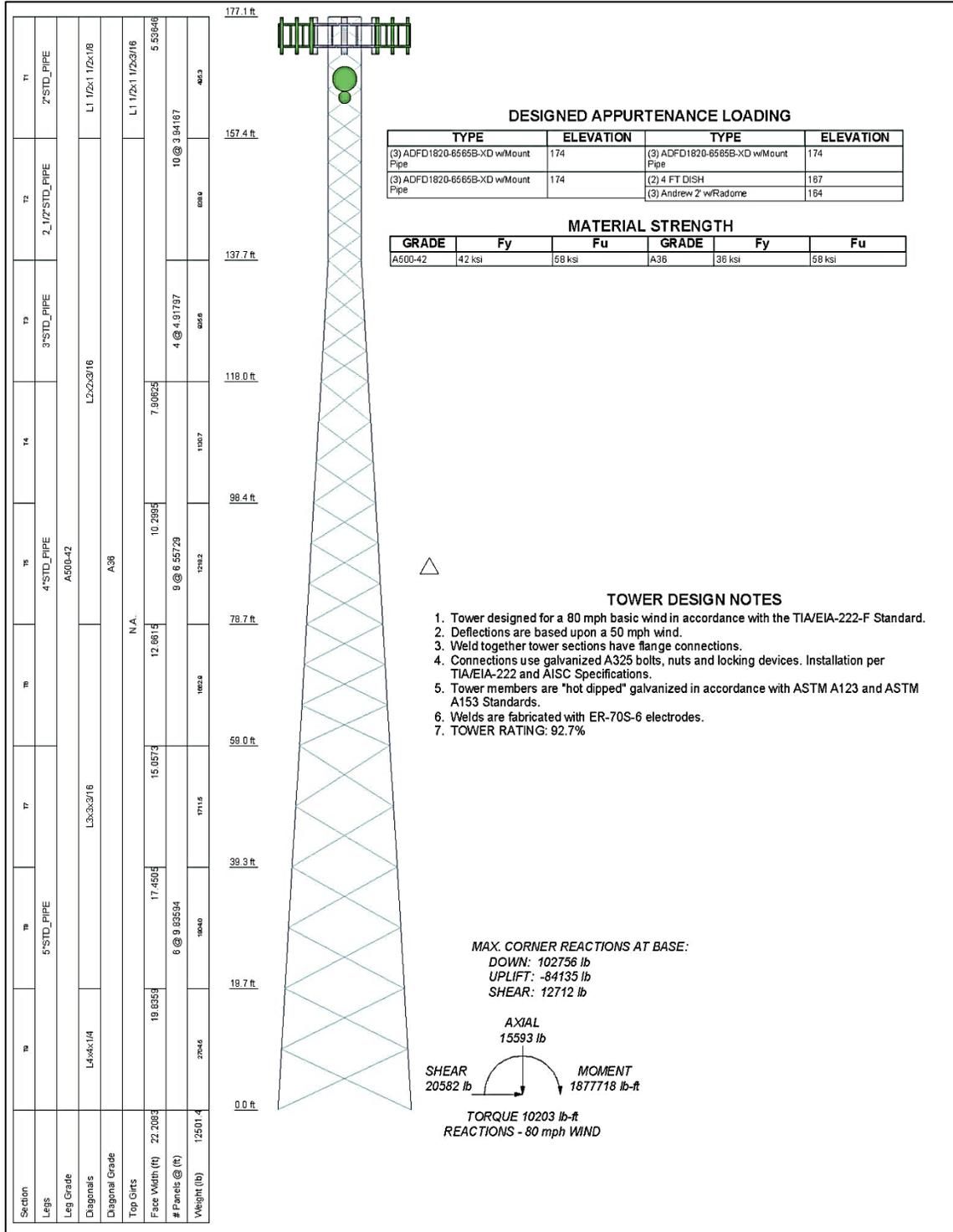
ACCESORIOS ADICIONALES EN LA TORRE			
ESCALERILLA DE GUIAS DE ONDA			
ESCALERA DE ASCENSO A LA TORRE			
SISTEMA DE SEGURIDAD (CABLE DE VIDA)			
SOPORTES DE ANTENA CELULAR (T-ARM)			
SOPORTES PARA ANTENAS DE MW			
PLATAFORMAS EN LA TORRE (INDICAR CUANTAS)			
CARGA DE DISEÑO DE TORRE			
TIPO DE ANTENA	DIÁMETRO DE ANTENA	ALTURA DE ANTENA	AZIMUT
MICROONDA			
ANTENA CELULAR			
ANTENA CELULAR			
ANTENA CELULAR			

Continuación del anexo 1.

CARGA DE DISEÑO DE TORRE		
ACCESORIOS	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN		
LÍNEAS DE MICROONDAS		
ACCESORIOS DE SUJECCIÓN DE LÍNEAS		
OTRO TIPO DE ACCESORIO PARA LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN		

Fuente: Jefatura de construcción Telefónica Móviles Guatemala.

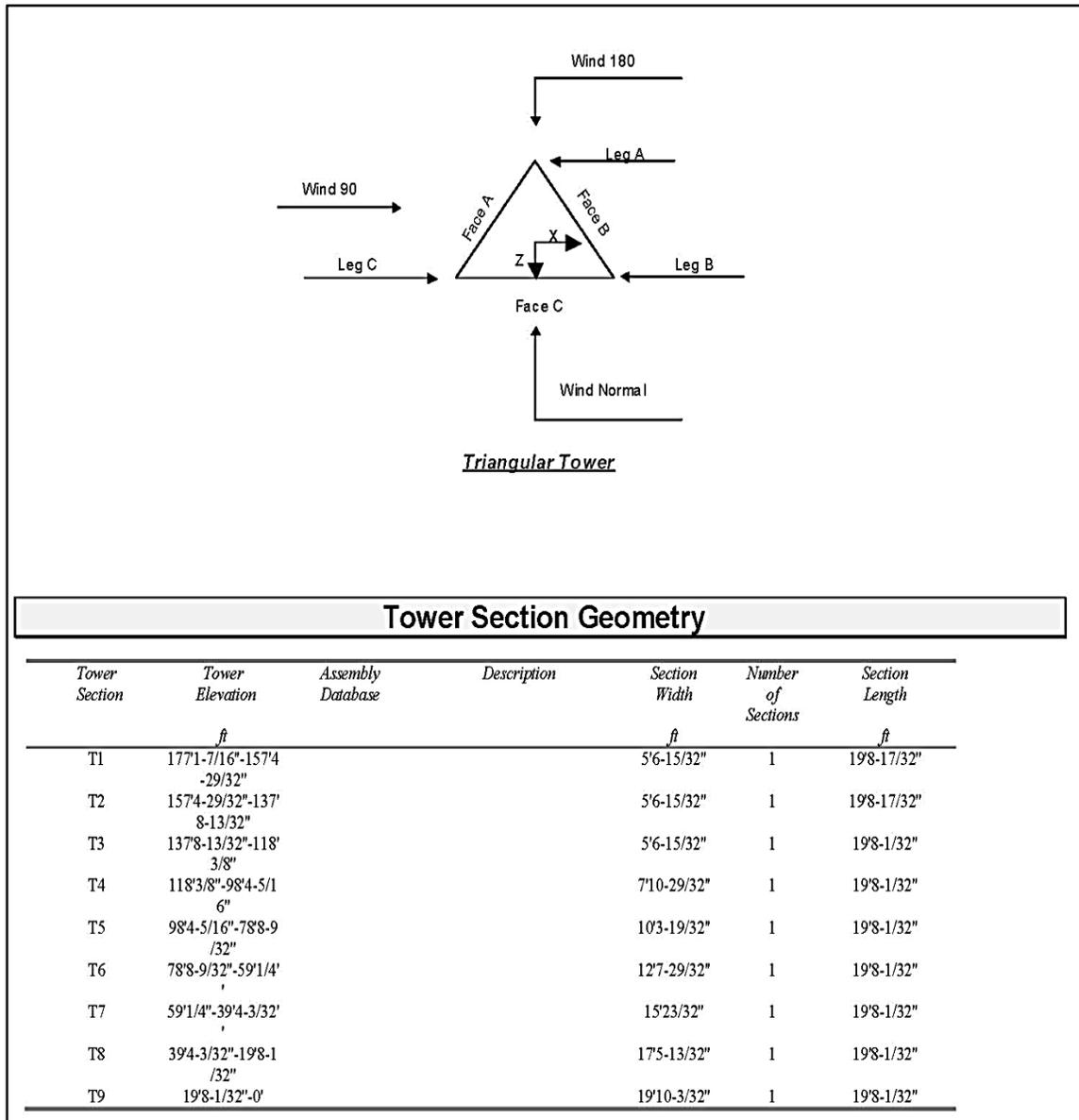
Anexo 2. Memoria de Cálculo torre SSTT 54 metros 80 millas por hora



Continuación del anexo 2.

Tower Input Data		
<p>The main tower is a 3x free standing tower with an overall height of 177'1-7/16" above the ground line. The base of the tower is set at an elevation of 0' above the ground line. The face width of the tower is 5'6-7/16" at the top and 22'2-1/2" at the base. This tower is designed using the TIA/EIA-222-F standard. The following design criteria apply:</p> <ul style="list-style-type: none"> Basic wind speed of 80 mph. Deflections calculated using a wind speed of 50 mph. Weld together tower sections have flange connections.. Connections use galvanized A325 bolts, nuts and locking devices. Installation per TIA/EIA-222 and AISC Specifications.. Tower members are "hot dipped" galvanized in accordance with ASTM A123 and ASTM A153 Standards.. Welds are fabricated with ER-70S-6 electrodes.. A non-linear (P-delta) analysis was used. Pressures are calculated at each section. Stress ratio used in tower member design is 1.333. Local bending stresses due to climbing loads, feedline supports, and appurtenance mounts are not considered. 		
Options		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Consider Moments - Legs Consider Moments - Horizontals ✓ Consider Moments - Diagonals Use Moment Magnification ✓ Use Code Stress Ratios ✓ Use Code Safety Factors - Guys Escalate Ice Always Use Max Kz Use Special Wind Profile ✓ Include Bolts In Member Capacity Leg Bolts Are At Top Of Section Secondary Horizontal Braces Leg Use Diamond Inner Bracing (4 Sided) ✓ Add IBC .6D+W Combination 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Distribute Leg Loads As Uniform ✓ Assume Legs Pinned ✓ Assume Rigid Index Plate ✓ Use Clear Spans For Wind Area ✓ Use Clear Spans For KL/r Retension Guys To Initial Tension ✓ Bypass Mast Stability Checks ✓ Use Azimuth Dish Coefficients ✓ Project Wind Area of Appurt. Autocalc Torque Arm Areas SR Members Have Cut Ends Sort Capacity Reports By Component Triangulate Diamond Inner Bracing 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Treat Feedline Bundles As Cylinder ✓ Use ASCE 10 X-Brace Ly Rules Calculate Redundant Bracing Forces ✓ Ignore Redundant Members in FEA ✓ SR Leg Bolts Resist Compression ✓ All Leg Panels Have Same Allowable Offset Girt At Foundation ✓ Consider Feedline Torque ✓ Include Angle Block Shear Check <p style="text-align: center; margin: 5px 0;">Poles</p> <ul style="list-style-type: none"> Include Shear-Torsion Interaction Always Use Sub-Critical Flow Use Top Mounted Sockets

Continuación del anexo 2.



Continuación del anexo 2.

Tower Section Geometry (cont'd)							
Tower Section	Tower Elevation	Diagonal Spacing	Bracing Type	Has K Brace End Panels	Has Horizontals	Top Girt Offset	Bottom Girt Offset
	ft	ft				in	in
T1	177'1-7/16"-157'4-29/32"	3'11-9/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T2	157'4-29/32"-137'8-13/32"	3'11-9/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T3	137'8-13/32"-118'3/8"	4'11-1/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T4	118'3/8"-98'4-5/16"	6'6-23/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T5	98'4-5/16"-78'8-9/32"	6'6-23/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T6	78'8-9/32"-59'1/4"	6'6-23/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T7	59'1/4"-39'4-3/32"	9'10-3/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T8	39'4-3/32"-19'8-1/32"	9'10-3/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000
T9	19'8-1/32"-0'	9'10-3/32"	X Brace	No	No	0.0000	0.0000

Tower Section Geometry (cont'd)						
Tower Elevation	Leg Type	Leg Size	Leg Grade	Diagonal Type	Diagonal Size	Diagonal Grade
ft						
T1 177'1-7/16"-157'4-29/32"	Pipe	2"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L1 1/2x1 1/2x1/8	A36 (36 ksi)
T2 157'4-29/32"-137'8-13/32"	Pipe	2 1/2"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L2x2x3/16	A36 (36 ksi)
T3 137'8-13/32"-118'3/8"	Pipe	3"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L2x2x3/16	A36 (36 ksi)
T4 118'3/8"-98'4-5/16"	Pipe	4"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L2x2x3/16	A36 (36 ksi)
T5 98'4-5/16"-78'8-9/32"	Pipe	4"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L2x2x3/16	A36 (36 ksi)
T6 78'8-9/32"-59'1/4"	Pipe	4"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L3x3x3/16	A36 (36 ksi)
T7 59'1/4"-39'4-3/32"	Pipe	5"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L3x3x3/16	A36 (36 ksi)
T8 39'4-3/32"-19'8-1/32"	Pipe	5"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L3x3x3/16	A36 (36 ksi)
T9 19'8-1/32"-0'	Pipe	5"STD_PIPE	A500-42 (42 ksi)	Equal Angle	L4x4x1/4	A36 (36 ksi)

Continuación del anexo 2.

Tower Section Geometry (cont'd)						
Tower Elevation ft	Top Girt Type	Top Girt Size	Top Girt Grade	Bottom Girt Type	Bottom Girt Size	Bottom Girt Grade
177'1-7/16"-1574-29/32"	Equal Angle	L1 1/2x1 1/2x3/16	A36 (36 ksi)	60 Bent Plate		A36 (36 ksi)

Tower Section Geometry (cont'd)								
Tower Elevation ft	Gusset Area (per face) ft ²	Gusset Thickness in	Gusset Grade	Adjust. Factor A _r	Adjust. Factor A _r	Weight Mult.	Double Angle Stitch Bolt Spacing Diagonals in	Double Angle Stitch Bolt Spacing Horizontals in
177'1-7/16"-1574-29/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
1574-29/32"-137'8-13/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
137'8-13/32"-118'3/8"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
118'3/8"-98'4-5/16"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
98'4-5/16"-78'8-9/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
78'8-9/32"-59'1/4"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
59'1/4"-39'4-3/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
39'4-3/32"-19'8-1/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
19'8-1/32"-0'	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000

Tower Section Geometry (cont'd)										
Tower Elevation ft	Calc K Single Angles	Calc K Solid Rounds	Legs	K Factors ¹						
				X Brace Diags X Y	K Brace Diags X Y	Single Diags X Y	Girts X Y	Horiz X Y	Sec. Horiz X Y	Inner Brace X Y
177'1-7/16"-1574-29/32"	Yes	No	1	1	1	1	1	1	1	1
1574-29/32"-137'8-13/32"	Yes	No	1	1	1	1	1	1	1	1

Continuación del anexo 2.

Tower Section Geometry (cont'd)						
Tower Elevation ft	Top Girt Type	Top Girt Size	Top Girt Grade	Bottom Girt Type	Bottom Girt Size	Bottom Girt Grade
177'1-7/16"-157'4-29/32"	Equal Angle	L1 1/2x1 1/2x3/16	A36 (36 ksi)	60 Bent Plate		A36 (36 ksi)

Tower Section Geometry (cont'd)								
Tower Elevation ft	Gusset Area (per face) ft ²	Gusset Thickness in	Gusset Grade	Adjust. Factor A _f	Adjust. Factor A _v	Weight Mult.	Double Angle Stitch Bolt Spacing Diagonals in	Double Angle Stitch Bolt Spacing Horizontals in
177'1-7/16"-157'4-29/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
157'4-29/32"-137'8-13/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
137'8-13/32"-118'3/8"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
118'3/8"-98'4-5/16"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
98'4-5/16"-78'8-9/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
78'8-9/32"-59'1/4"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
59'1/4"-39'4-3/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
39'4-3/32"-19'8-1/32"	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000
19'8-1/32"-0'	0.00	0.0000	A36 (36 ksi)	1	1	1	0.0000	0.0000

Tower Section Geometry (cont'd)										
Tower Elevation ft	Calc K Single Angles	Calc K Solid Rounds	Legs	K Factors ¹						
				X Brace Diags	K Brace Diags	Single Diags	Girts	Horiz	Sec. Horiz	Inner Brace
177'1-7/16"-157'4-29/32"	Yes	No	1	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y	X Y
157'4-29/32"-137'8-13/32"	Yes	No	1	1	1	1	1	1	1	1

Continuación del anexo 2.

Tower Elevation ft	Leg		Diagonal		Top Girt		Bottom Girt		Mid Girt		Long Horizontal		Short Horizontal	
	Net Width Deduct in	U	Net Width Deduct in	U	Net Width Deduct in	U								
T8 39'4-3/32"-19'8-1/32"	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	0.75	0.0000	1	0.0000	0.75
T9 19'8-1/32"-0'	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	1	0.0000	0.75	0.0000	1	0.0000	0.75

Tower Section Geometry (cont'd)

Tower Elevation ft	Leg Connection Type	Leg		Diagonal		Top Girt		Bottom Girt		Mid Girt		Long Horizontal		Short Horizontal	
		Bolt Size in	No.	Bolt Size in	No.										
T1 177'1-7/16"-15'7'4-29/32"	Flange	0.6250 A325X	4	0.5000 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T2 157'4-29/32"-1'37'8-13/32"	Flange	0.6250 A325X	4	0.5000 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T3 137'8-13/32"-1'18'3/8"	Flange	0.6250 A325X	4	0.5000 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T4 118'3/8"-98'4-5/16"	Flange	0.6250 A325X	4	0.5000 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T5 98'4-5/16"-78'8-9/32"	Flange	0.8750 A325X	6	0.5000 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T6 78'8-9/32"-59'1/4"	Flange	0.8750 A325X	6	0.6250 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T7 59'1/4"-39'4-3/32"	Flange	0.8750 A325X	6	0.6250 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T8 39'4-3/32"-19'8-1/32"	Flange	1.0000 A325X	8	0.6250 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0
T9 19'8-1/32"-0'	Flange	1.0000 A325X	10	0.8750 A325X	1	0.0000 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0	0.0000 A325X	0	0.6250 A325X	0

Continuación del anexo 2.

Feed Line/Linear Appurtenances - Entered As Round Or Flat												
Description	Face or Leg	Allow Shield	Component Type	Placement	Face Offset	Lateral Offset	#	# Per Row	Clear Spacing	Width or Diameter	Perimeter	Weight
				ft	in	(Frac FW)			in	in	in	plf
1 5/8	C	No	Ar (CF Ae)	170' - 0'	0.0000	0	9	4	0.0000	1.6250		1.04
3/8	C		岩	.	罪	-0.1	5	3	0.0000	0.8750		0.50

Feed Line/Linear Appurtenances Section Areas							
Tower Section	Tower Elevation	Face	A _R	A _P	C _A A _A In Face	C _A A _A Out Face	Weight
	ft		ft ²	ft ²	ft ²	ft ²	lb
T1	177'1-7/16"-157'4-29/32"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	9.406	0.000	0.000	0.000	134.30
T2	157'4-29/32"-137'8-13/32"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.942	0.000	0.000	0.000	233.74
T3	137'8-13/32"-118'3/8"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.911	0.000	0.000	0.000	233.31
T4	118'3/8"-98'4-5/16"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.911	0.000	0.000	0.000	233.31
T5	98'4-5/16"-78'8-9/32"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.911	0.000	0.000	0.000	233.31
T6	78'8-9/32"-59'1/4"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.911	0.000	0.000	0.000	233.31
T7	59'1/4"-39'4-3/32"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.911	0.000	0.000	0.000	233.31
T8	39'4-3/32"-19'8-1/32"	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.911	0.000	0.000	0.000	233.31
T9	19'8-1/32"-0'	A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00
		C	16.911	0.000	0.000	0.000	233.31

Feed Line Center of Pressure					
Section	Elevation	CP _x	CP _z	CP _x Ice	CP _z Ice
	ft	in	in	in	in
T1	177'1-7/16"-157'4-29/32"	0.1739	3.3827	0.1739	3.3827
T2	157'4-29/32"-137'8-1/3/32"	0.3971	4.6133	0.3971	4.6133
T3	137'8-13/32"-118'3/8"	0.4491	5.1308	0.4491	5.1308
T4	118'3/8"-98'4-5/16"	0.5416	6.0582	0.5416	6.0582
T5	98'4-5/16"-78'8-9/32"	0.6417	7.0888	0.6417	7.0888
T6	78'8-9/32"-59'1/4"	0.6011	6.5861	0.6011	6.5861
T7	59'1/4"-39'4-3/32"	0.7116	7.7509	0.7116	7.7509
T8	39'4-3/32"-19'8-1/32"	0.7782	8.4389	0.7782	8.4389
T9	19'8-1/32"-0'	0.7203	7.7842	0.7203	7.7842

Continuación del anexo 2.

Discrete Tower Loads									
Description	Face or Leg	Offset Type	Offsets: Horz Lateral	Azimuth Adjustment	Placement	C _{A²A} Front	C _{A²A} Side	Weight	
			Vert ft ft ft	°	ft	ft ²	ft ²	lb	
(3) ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	A	From Leg	0.00 0' 0'	0.0000	174'	No Ice	6.83	0.00	60.05
(3) ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	B	From Leg	0.00 0' 0'	0.0000	174'	No Ice	6.83	0.00	60.05
(3) ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	C	From Leg	0.00 0' 0'	0.0000	174'	No Ice	6.83	0.00	60.05

Dishes										
Description	Face or Leg	Dish Type	Offset Type	Offsets: Horz Lateral	Azimuth Adjustment	3 dB Beam Width	Elevation	Outside Diameter	Aperture Area	Weight
				Vert ft ft ft	°	°	ft	ft	ft ²	lb
(2) 4 FT DISH	C	Paraboloid w/o Radome	From Face	0.00 0' 0'	0.0000		167'	4.00	No Ice	12.56
(3) Andrew 2' w/Radome	C	Paraboloid w/o Radome	From Face	0.00 0' 0'	0.0000		164'	2.00	No Ice	3.14

Tower Pressures - No Ice											
G _H = 1.122											
Section Elevation	z	K _z	q _z	A _G	F a c e	A _F	A _R	A _{leg}	Leg %	C _{A²A} In Face	C _{A²A} Out Face
ft	ft		psf	ft ²	e	ft ²	ft ²	ft ²		ft ²	ft ²
T1	167'3-1/4"	1.59	26	113.015	A	8.859	7.801	7.801	46.83	0.000	0.000
177'1-7/16"-15					B	8.859	7.801		46.83	0.000	0.000
7'4-29/32"					C	8.859	17.207		29.93	0.000	0.000
T2	147'6-23/32"	1.534	25	113.836	A	10.845	9.444	9.444	46.55	0.000	0.000
157'4-29/32"-1	2"				B	10.845	9.444		46.55	0.000	0.000
37'8-13/32"					C	10.845	26.385		25.36	0.000	0.000
T3	127'10-7/16"	1.473	24	137.970	A	10.647	11.503	11.503	51.93	0.000	0.000
137'8-13/32"-1	6"				B	10.647	11.503		51.93	0.000	0.000
18'3/8"					C	10.647	28.414		29.45	0.000	0.000
T4	108'2-13/32"	1.404	23	186.461	A	10.782	14.790	14.790	57.84	0.000	0.000
118'3/8"-98'4-5/16"	2"				B	10.782	14.790		57.84	0.000	0.000
					C	10.782	31.701		34.81	0.000	0.000

Continuación del anexo 2.

Section Elevation ft	z ft	K_z	q_z psf	A_G ft ²	F a c e	A_F ft ²	A_R ft ²	A_{leg} ft ²	Leg %	C_{AA} In Face ft ²	C_{AA} Out Face ft ²
T5 98'4-5/16"-78'8-9/32"	88'6-1/4"	1.326	22	233.233	A	12.795	14.789	14.789	53.62	0.000	0.000
					B	12.795	14.789		53.62	0.000	0.000
					C	12.795	31.700		33.24	0.000	0.000
T6 78'8-9/32"-59'1/4"	68'10-3/16"	1.234	20	280.031	A	22.382	14.790	14.790	39.79	0.000	0.000
					B	22.382	14.790		39.79	0.000	0.000
					C	22.382	31.701		27.35	0.000	0.000
T7 59'1/4"-39'4-3/32"	49'2-5/32"	1.121	18	328.881	A	18.488	18.284	18.284	49.72	0.000	0.000
					B	18.488	18.284		49.72	0.000	0.000
					C	18.488	35.195		34.06	0.000	0.000
T8 39'4-3/32"-19'8-1/32"	29'6-1/8"	1	16	375.884	A	20.559	18.284	18.284	47.07	0.000	0.000
					B	20.559	18.284		47.07	0.000	0.000
					C	20.559	35.194		32.79	0.000	0.000
T9 19'8-1/32"-0'	9'10-3/32"	1	16	422.681	A	30.268	18.283	18.283	37.66	0.000	0.000
					B	30.268	18.283		37.66	0.000	0.000
					C	30.268	35.194		27.93	0.000	0.000

Tower Pressure - Service

$G_H = 1.122$

Section Elevation ft	z ft	K_z	q_z psf	A_G ft ²	F a c e	A_F ft ²	A_R ft ²	A_{leg} ft ²	Leg %	C_{AA} In Face ft ²	C_{AA} Out Face ft ²
T1 177'1-7/16"-157'4-29/32"	167'3-1/4"	1.59	10	113.015	A	8.859	7.801	7.801	46.83	0.000	0.000
					B	8.859	7.801		46.83	0.000	0.000
					C	8.859	17.207		29.93	0.000	0.000
T2 157'4-29/32"-137'8-13/32"	147'6-23/32"	1.534	10	113.836	A	10.845	9.444	9.444	46.55	0.000	0.000
					B	10.845	9.444		46.55	0.000	0.000
					C	10.845	26.385		25.36	0.000	0.000
T3 137'8-13/32"-118'3/8"	127'10-7/16"	1.473	9	137.970	A	10.647	11.503	11.503	51.93	0.000	0.000
					B	10.647	11.503		51.93	0.000	0.000
					C	10.647	28.414		29.45	0.000	0.000
T4 118'3/8"-98'4-5/16"	108'2-13/32"	1.404	9	186.461	A	10.782	14.790	14.790	57.84	0.000	0.000
					B	10.782	14.790		57.84	0.000	0.000
					C	10.782	31.701		34.81	0.000	0.000
T5 98'4-5/16"-78'8-9/32"	88'6-1/4"	1.326	8	233.233	A	12.795	14.789	14.789	53.62	0.000	0.000
					B	12.795	14.789		53.62	0.000	0.000
					C	12.795	31.700		33.24	0.000	0.000
T6 78'8-9/32"-59'1/4"	68'10-3/16"	1.234	8	280.031	A	22.382	14.790	14.790	39.79	0.000	0.000
					B	22.382	14.790		39.79	0.000	0.000
					C	22.382	31.701		27.35	0.000	0.000
T7 59'1/4"-39'4-3/32"	49'2-5/32"	1.121	7	328.881	A	18.488	18.284	18.284	49.72	0.000	0.000
					B	18.488	18.284		49.72	0.000	0.000
					C	18.488	35.195		34.06	0.000	0.000
T8 39'4-3/32"-19'8-1/32"	29'6-1/8"	1	6	375.884	A	20.559	18.284	18.284	47.07	0.000	0.000
					B	20.559	18.284		47.07	0.000	0.000
					C	20.559	35.194		32.79	0.000	0.000
T9 19'8-1/32"-0'	9'10-3/32"	1	6	422.681	A	30.268	18.283	18.283	37.66	0.000	0.000
					B	30.268	18.283		37.66	0.000	0.000
					C	30.268	35.194		27.93	0.000	0.000

Continuación del anexo 2.

Tower Forces - No Ice - Wind Normal To Face												
Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _P	R _R	D _F	D _R	A _G	F	w	Ctrl. Face
ft	lb	lb							ft ²	lb	plf	
T1	134.30	495.32	A	0.147	2.781	0.581	1	1	13.392	1396.32	70.85	C
177'1-7/16"-1			B	0.147	2.781	0.581	1	1	13.392			
57'4-29/32"			C	0.231	2.497	0.597	1	1	19.134			
T2	233.74	838.89	A	0.178	2.67	0.586	1	1	16.381	1715.60	87.05	C
157'4-29/32"			B	0.178	2.67	0.586	1	1	16.381			
137'8-13/32"			C	0.327	2.227	0.625	1	1	27.325			
T3	233.31	935.55	A	0.161	2.733	0.583	1	1	17.354	1775.22	90.24	C
137'8-13/32"			B	0.161	2.733	0.583	1	1	17.354			
118'3/8"			C	0.283	2.342	0.611	1	1	28.004			
T4	233.31	1130.67	A	0.137	2.819	0.58	1	1	19.354	1919.91	97.60	C
118'3/8"-98'4-5/16"			B	0.137	2.819	0.58	1	1	19.354			
			C	0.228	2.506	0.596	1	1	29.691			
T5	233.31	1218.19	A	0.118	2.892	0.577	1	1	21.330	2013.55	102.36	C
98'4-5/16"-78'8-9/32"			B	0.118	2.892	0.577	1	1	21.330			
			C	0.191	2.627	0.589	1	1	31.452			
T6	233.31	1662.89	A	0.133	2.836	0.579	1	1	30.946	2438.76	123.97	C
78'8-9/32"-59'1/4"			B	0.133	2.836	0.579	1	1	30.946			
			C	0.193	2.619	0.589	1	1	41.055			
T7	233.31	1711.45	A	0.112	2.917	0.576	1	1	29.026	2189.69	111.31	C
59'1/4"-39'4-3/32"			B	0.112	2.917	0.576	1	1	29.026			
			C	0.163	2.723	0.584	1	1	39.027			
T8	233.31	1803.99	A	0.103	2.951	0.575	1	1	31.080	2094.19	106.46	C
39'4-3/32"-19'8-1/32"			B	0.103	2.951	0.575	1	1	31.080			
			C	0.148	2.778	0.581	1	1	41.015			
T9	233.31	2704.46	A	0.115	2.905	0.577	1	1	40.813	2569.33	130.61	C
19'8-1/32"-0'			B	0.115	2.905	0.577	1	1	40.813			
			C	0.155	2.754	0.582	1	1	50.760			
Sum Weight:	2001.20	12501.43						OTM	1462337.1 3 lb-ft	18112.57		

Tower Forces - No Ice - Wind 60 To Face												
Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _P	R _R	D _F	D _R	A _G	F	w	Ctrl. Face
ft	lb	lb							ft ²	lb	plf	
T1	134.30	495.32	A	0.147	2.781	0.581	0.8	1	11.620	1267.02	64.29	C
177'1-7/16"-1			B	0.147	2.781	0.581	0.8	1	11.620			
57'4-29/32"			C	0.231	2.497	0.597	0.8	1	17.362			
T2	233.74	838.89	A	0.178	2.67	0.586	0.8	1	14.212	1579.41	80.14	C
157'4-29/32"			B	0.178	2.67	0.586	0.8	1	14.212			
137'8-13/32"			C	0.327	2.227	0.625	0.8	1	25.155			
T3	233.31	935.55	A	0.161	2.733	0.583	0.8	1	15.225	1640.23	83.38	C
137'8-13/32"			B	0.161	2.733	0.583	0.8	1	15.225			
118'3/8"			C	0.283	2.342	0.611	0.8	1	25.874			
T4	233.31	1130.67	A	0.137	2.819	0.58	0.8	1	17.198	1780.47	90.51	C
118'3/8"-98'4-5/16"			B	0.137	2.819	0.58	0.8	1	17.198			
			C	0.228	2.506	0.596	0.8	1	27.534			
T5	233.31	1218.19	A	0.118	2.892	0.577	0.8	1	18.771	1849.73	94.03	C
98'4-5/16"-78'8-9/32"			B	0.118	2.892	0.577	0.8	1	18.771			
			C	0.191	2.627	0.589	0.8	1	28.893			
T6	233.31	1662.89	A	0.133	2.836	0.579	0.8	1	26.469	2172.84	110.45	C
78'8-9/32"-59'1/4"			B	0.133	2.836	0.579	0.8	1	26.469			
			C	0.193	2.619	0.589	0.8	1	36.578			
T7	233.31	1711.45	A	0.112	2.917	0.576	0.8	1	25.329	1982.23	100.76	C
59'1/4"-39'4-3/32"			B	0.112	2.917	0.576	0.8	1	25.329			

Continuación del anexo 2.

Section Elevation ft	Add Weight lb	Self Weight lb	F a c e	e	C _P	R _R	D _P	D _R	A _E ft ²	F lb	w plf	Ctrl. Face
32" T8	233.31	1803.99	C	0.163	2.723	0.584	0.8	1	35.330	1884.24	95.78	C
394-3/32"-19'			A	0.103	2.951	0.575	0.8	1	26.969			
8-1/32"			B	0.103	2.951	0.575	0.8	1	26.969			
19'8-1/32"-0'	233.31	2704.46	C	0.148	2.778	0.581	0.8	1	36.903	2262.91	115.03	C
T9			A	0.115	2.905	0.577	0.8	1	34.759			
19'8-1/32"-0'			B	0.115	2.905	0.577	0.8	1	34.759			
Sum Weight:	2001.20	12501.43	C	0.155	2.754	0.582	0.8	1	44.706	16419.09		
Tower Forces - No Ice - Wind 90 To Face												
Section Elevation ft	Add Weight lb	Self Weight lb	F a c e	e	C _P	R _R	D _P	D _R	A _E ft ²	F lb	w plf	Ctrl. Face
T1	134.30	495.32	A	0.147	2.781	0.581	0.85	1	12.063	1299.35	65.93	C
177'1-7/16"-1			B	0.147	2.781	0.581	0.85	1	12.063			
57'4-29/32"			C	0.231	2.497	0.597	0.85	1	17.805			
157'4-29/32"-	233.74	838.89	A	0.178	2.67	0.586	0.85	1	14.754	1613.46	81.87	C
137'8-13/32"			B	0.178	2.67	0.586	0.85	1	14.754			
T2			C	0.327	2.227	0.625	0.85	1	25.698			
137'8-13/32"-	233.31	935.55	A	0.161	2.733	0.583	0.85	1	15.758	1673.98	85.10	C
118'3/8"			B	0.161	2.733	0.583	0.85	1	15.758			
T3			C	0.283	2.342	0.611	0.85	1	26.407			
118'3/8"-98'4-5/16"	233.31	1130.67	A	0.137	2.819	0.58	0.85	1	17.737	1815.33	92.28	C
98'4-5/16"-78'8-9/32"			B	0.137	2.819	0.58	0.85	1	17.737			
T4			C	0.228	2.506	0.596	0.85	1	28.073			
78'8-9/32"-59'1/4"	233.31	1218.19	A	0.118	2.892	0.577	0.85	1	19.411	1890.68	96.11	C
59'1/4"-39'4-3/32"			B	0.118	2.892	0.577	0.85	1	19.411			
T5			C	0.191	2.627	0.589	0.85	1	29.533			
39'4-3/32"-19'8-1/32"-0'	233.31	1662.89	A	0.133	2.836	0.579	0.85	1	27.588	2239.32	113.83	C
19'8-1/32"-0'			B	0.133	2.836	0.579	0.85	1	27.588			
T6			C	0.193	2.619	0.589	0.85	1	37.698			
19'8-1/32"-0'	233.31	1711.45	A	0.112	2.917	0.576	0.85	1	26.253	2034.10	103.40	C
19'8-1/32"-0'			B	0.112	2.917	0.576	0.85	1	26.253			
T7			C	0.163	2.723	0.584	0.85	1	36.254			
19'8-1/32"-0'	233.31	1803.99	A	0.103	2.951	0.575	0.85	1	27.997	1936.73	98.45	C
19'8-1/32"-0'			B	0.103	2.951	0.575	0.85	1	27.997			
T8			C	0.148	2.778	0.581	0.85	1	37.931			
19'8-1/32"-0'	233.31	2704.46	A	0.115	2.905	0.577	0.85	1	36.273	2339.52	118.93	C
19'8-1/32"-0'			B	0.115	2.905	0.577	0.85	1	36.273			
T9			C	0.155	2.754	0.582	0.85	1	46.219			
Sum Weight:	2001.20	12501.43					OTM	1367617.9 4 lb-ft	16842.46			

Continuación del anexo 2.

Tower Forces - Service - Wind Normal To Face												
Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _G	F	w	Ctrl. Face
ft	lb	lb							ft ²	lb	plf	
T1	134.30	495.32	A	0.147	2.781	0.581	1	1	13.392	545.44	27.68	C
177'1-7/16"-1			B	0.147	2.781	0.581	1	1	13.392			
57'4-29/32"			C	0.231	2.497	0.597	1	1	19.134			
T2	233.74	838.89	A	0.178	2.67	0.586	1	1	16.381	670.16	34.00	C
157'4-29/32"			B	0.178	2.67	0.586	1	1	16.381			
137'8-13/32"			C	0.327	2.227	0.625	1	1	27.325			
T3	233.31	935.55	A	0.161	2.733	0.583	1	1	17.354	693.44	35.25	C
137'8-13/32"			B	0.161	2.733	0.583	1	1	17.354			
118'3/8"			C	0.283	2.342	0.611	1	1	28.004			
T4	233.31	1130.67	A	0.137	2.819	0.58	1	1	19.354	749.96	38.12	C
118'3/8"-98'4-5/16"			B	0.137	2.819	0.58	1	1	19.354			
			C	0.228	2.506	0.596	1	1	29.691			
T5	233.31	1218.19	A	0.118	2.892	0.577	1	1	21.330	786.54	39.98	C
98'4-5/16"-78'8-9/32"			B	0.118	2.892	0.577	1	1	21.330			
			C	0.191	2.627	0.589	1	1	31.452			
T6	233.31	1662.89	A	0.133	2.836	0.579	1	1	30.946	952.64	48.43	C
78'8-9/32"-59'1/4"			B	0.133	2.836	0.579	1	1	30.946			
			C	0.193	2.619	0.589	1	1	41.055			
T7	233.31	1711.45	A	0.112	2.917	0.576	1	1	29.026	855.35	43.48	C
59'1/4"-39'4-3/32"			B	0.112	2.917	0.576	1	1	29.026			
			C	0.163	2.723	0.584	1	1	39.027			
T8	233.31	1803.99	A	0.103	2.951	0.575	1	1	31.080	818.04	41.58	C
39'4-3/32"-19'8-1/32"			B	0.103	2.951	0.575	1	1	31.080			
			C	0.148	2.778	0.581	1	1	41.015			
T9	233.31	2704.46	A	0.115	2.905	0.577	1	1	40.813	1003.65	51.02	C
19'8-1/32"-0'			B	0.115	2.905	0.577	1	1	40.813			
			C	0.155	2.754	0.582	1	1	50.760			
Sum Weight:	2001.20	12501.43						OTM	571225.44 lb-ft	7075.22		

Tower Forces - Service - Wind 60 To Face												
Section Elevation	Add Weight	Self Weight	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _G	F	w	Ctrl. Face
ft	lb	lb							ft ²	lb	plf	
T1	134.30	495.32	A	0.147	2.781	0.581	0.8	1	11.620	494.93	25.11	C
177'1-7/16"-1			B	0.147	2.781	0.581	0.8	1	11.620			
57'4-29/32"			C	0.231	2.497	0.597	0.8	1	17.362			
T2	233.74	838.89	A	0.178	2.67	0.586	0.8	1	14.212	616.96	31.30	C
157'4-29/32"			B	0.178	2.67	0.586	0.8	1	14.212			
137'8-13/32"			C	0.327	2.227	0.625	0.8	1	25.155			
T3	233.31	935.55	A	0.161	2.733	0.583	0.8	1	15.225	640.72	32.57	C
137'8-13/32"			B	0.161	2.733	0.583	0.8	1	15.225			
118'3/8"			C	0.283	2.342	0.611	0.8	1	25.874			
T4	233.31	1130.67	A	0.137	2.819	0.58	0.8	1	17.198	695.49	35.35	C
118'3/8"-98'4-5/16"			B	0.137	2.819	0.58	0.8	1	17.198			
			C	0.228	2.506	0.596	0.8	1	27.534			
T5	233.31	1218.19	A	0.118	2.892	0.577	0.8	1	18.771	722.55	36.73	C
98'4-5/16"-78'8-9/32"			B	0.118	2.892	0.577	0.8	1	18.771			
			C	0.191	2.627	0.589	0.8	1	28.893			
T6	233.31	1662.89	A	0.133	2.836	0.579	0.8	1	26.469	848.77	43.15	C
78'8-9/32"-59'1/4"			B	0.133	2.836	0.579	0.8	1	26.469			
			C	0.193	2.619	0.589	0.8	1	36.578			
T7	233.31	1711.45	A	0.112	2.917	0.576	0.8	1	25.329	774.31	39.36	C
59'1/4"-39'4-3/32"			B	0.112	2.917	0.576	0.8	1	25.329			

Continuación del anexo 2.

Section Elevation ft	Add Weight lb	Self Weight lb	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _B ft ²	F lb	w plf	Ctrl. Face
32" T8	233.31	1803.99	C	0.163	2.723	0.584	0.8	1	35.330	736.03	37.42	C
39'4-3/32"-19'			A	0.103	2.951	0.575	0.8	1	26.969			
8-1/32"			B	0.103	2.951	0.575	0.8	1	26.969			
19'8-1/32"-0'	233.31	2704.46	C	0.148	2.778	0.581	0.8	1	36.903	883.95	44.93	C
8-1/32"			A	0.115	2.905	0.577	0.8	1	34.759			
19'8-1/32"-0'			B	0.115	2.905	0.577	0.8	1	34.759			
Sum Weight:	2001.20	12501.43	C	0.155	2.754	0.582	0.8	OTM	521892.53 lb-ft	6413.71		

Tower Forces - Service - Wind 90 To Face

Section Elevation ft	Add Weight lb	Self Weight lb	F a c e	e	C _F	R _R	D _F	D _R	A _B ft ²	F lb	w plf	Ctrl. Face
T1	134.30	495.32	A	0.147	2.781	0.581	0.85	1	12.063	507.56	25.75	C
177'1-7/16"-1			B	0.147	2.781	0.581	0.85	1	12.063			
57'4-29/32"			C	0.231	2.497	0.597	0.85	1	17.805			
T2	233.74	838.89	A	0.178	2.67	0.586	0.85	1	14.754	630.26	31.98	C
157'4-29/32"-			B	0.178	2.67	0.586	0.85	1	14.754			
137'8-13/32"			C	0.327	2.227	0.625	0.85	1	25.698			
T3	233.31	935.55	A	0.161	2.733	0.583	0.85	1	15.758	653.90	33.24	C
137'8-13/32"-			B	0.161	2.733	0.583	0.85	1	15.758			
118'3/8"			C	0.283	2.342	0.611	0.85	1	26.407			
T4	233.31	1130.67	A	0.137	2.819	0.58	0.85	1	17.737	709.11	36.05	C
118'3/8"-98'4-			B	0.137	2.819	0.58	0.85	1	17.737			
5/16"			C	0.228	2.506	0.596	0.85	1	28.073			
T5	233.31	1218.19	A	0.118	2.892	0.577	0.85	1	19.411	738.55	37.54	C
98'4-5/16"-78'			B	0.118	2.892	0.577	0.85	1	19.411			
8-9/32"			C	0.191	2.627	0.589	0.85	1	29.533			
T6	233.31	1662.89	A	0.133	2.836	0.579	0.85	1	27.588	874.74	44.47	C
78'8-9/32"-59'			B	0.133	2.836	0.579	0.85	1	27.588			
1/4"			C	0.193	2.619	0.589	0.85	1	37.698			
T7	233.31	1711.45	A	0.112	2.917	0.576	0.85	1	26.253	794.57	40.39	C
59'1/4"-39'4-3/			B	0.112	2.917	0.576	0.85	1	26.253			
32"			C	0.163	2.723	0.584	0.85	1	36.254			
T8	233.31	1803.99	A	0.103	2.951	0.575	0.85	1	27.997	756.54	38.46	C
39'4-3/32"-19'			B	0.103	2.951	0.575	0.85	1	27.997			
8-1/32"			C	0.148	2.778	0.581	0.85	1	37.931			
T9	233.31	2704.46	A	0.115	2.905	0.577	0.85	1	36.273	913.87	46.46	C
19'8-1/32"-0'			B	0.115	2.905	0.577	0.85	1	36.273			
			C	0.155	2.754	0.582	0.85	1	46.219			
Sum Weight:	2001.20	12501.43	C					OTM	534225.76 lb-ft	6579.09		

Mast Vectors - No Ice

Section No.	Section Elevation ft	Wind Azimuth °	Directionality	F lb	V _y lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
-------------	-------------------------	-------------------	----------------	---------	----------------------	----------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------

Continuación del anexo 2.

Section No.	Section Elevation ft	Wind Azimuth °	Directionality	F lb	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
T1	177'1-7/16"-1574-29/32"	0	Wind Normal	1396.32	0.00	-1396.32	-233316.88	-9.12	20.24
		90		1299.35	1299.35	0.00	239.78	-217345.20	366.28
		180		1267.02	0.00	1267.02	212169.00	-9.12	-18.36
T2	157'4-29/32"-137'8-13/32"	0	Wind Normal	1715.60	0.00	-1715.60	-252735.17	-27.28	56.77
		90		1613.46	1613.46	0.00	414.64	-238105.36	620.28
		180		1579.41	0.00	1579.41	233468.81	-27.28	-52.26
T3	137'8-13/32"-118'3/8"	0	Wind Normal	1775.22	0.00	-1775.22	-226498.25	-33.06	66.44
		90		1673.98	1673.98	0.00	493.67	-214080.16	715.74
		180		1640.23	0.00	1640.23	210225.84	-33.06	-61.39
T4	118'3/8"-98'4-5/16'	0	Wind Normal	1919.91	0.00	-1919.91	-207070.87	-44.77	86.65
		90		1815.33	1815.33	0.00	654.07	-196454.55	916.46
		180		1780.47	0.00	1780.47	193292.13	-44.77	-80.35
T5	98'4-5/16"-78'8-9/32"	0	Wind Normal	2013.55	0.00	-2013.55	-177432.25	-56.46	107.67
		90		1890.68	1890.68	0.00	814.20	-167426.30	1116.90
		180		1849.73	0.00	1849.73	164558.51	-56.46	-98.91
T6	78'8-9/32"-59'1/4"	0	Wind Normal	2438.76	0.00	-2438.76	-166937.77	-68.16	122.16
		90		2239.32	2239.32	0.00	974.42	-154248.99	1229.04
		180		2172.84	0.00	2172.84	150578.14	-68.16	-108.84
T7	59'1/4"-39'4-3/32"	0	Wind Normal	2189.69	0.00	-2189.69	-106552.62	-79.94	129.85
		90		2034.10	2034.10	0.00	1135.69	-100116.11	1313.84
		180		1982.23	0.00	1982.23	98621.15	-79.94	-117.55
T8	39'4-3/32"-19'8-1/32"	0	Wind Normal	2094.19	0.00	-2094.19	-60498.42	-91.69	135.81
		90		1936.73	1936.73	0.00	1296.62	-57240.40	1362.00
		180		1884.24	0.00	1884.24	56896.55	-91.69	-122.20
T9	19'8-1/32"-0'	0	Wind Normal	2569.33	0.00	-2569.33	-23814.98	-103.39	154.23
		90		2339.52	2339.52	0.00	1456.84	-23114.72	1517.60
		180		2262.91	0.00	2262.91	23714.67	-103.39	-135.83

Mast Totals - No Ice

Wind Azimuth °	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
0	0.00	-18112.57	-1454857.21	-513.85	879.82
90	16842.46	0.00	7479.92	-1368131.79	9158.14
180	0.00	16419.09	1343524.80	-513.85	-795.70

Continuación del anexo 2.

Mast Vectors - Service									
Section No.	Section Elevation ft	Wind Azimuth °	Directionality	F lb	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
T1	177'1-7/16"-157'4-29/32"	0	Wind Normal	545.44	0.00	-545.44	-90993.29	-9.12	7.91
		90		507.56	507.56	0.00	239.78	-84906.03	143.08
		180		494.93	0.00	494.93	83024.63	-9.12	-7.17
T2	157'4-29/32"-137'8-13/32"	0	Wind Normal	670.16	0.00	-670.16	-98472.01	-27.28	22.18
		90		630.26	630.26	0.00	414.64	-93026.53	242.30
		180		616.96	0.00	616.96	91451.42	-27.28	-20.42
T3	137'8-13/32"-118'3/8"	0	Wind Normal	693.44	0.00	-693.44	-88175.05	-33.06	25.95
		90		653.90	653.90	0.00	493.67	-83645.21	279.59
		180		640.72	0.00	640.72	82420.30	-33.06	-23.98
T4	118'3/8"-98'4-5/16"	0	Wind Normal	749.96	0.00	-749.96	-80488.49	-44.77	33.85
		90		709.11	709.11	0.00	654.07	-76767.34	357.99
		180		695.49	0.00	695.49	75903.31	-44.77	-31.39
T5	98'4-5/16"-78'8-9/32"	0	Wind Normal	786.54	0.00	-786.54	-68813.32	-56.46	42.06
		90		738.55	738.55	0.00	814.20	-65435.31	436.29
		180		722.55	0.00	722.55	64776.82	-56.46	-38.64
T6	78'8-9/32"-59'1/4"	0	Wind Normal	952.64	0.00	-952.64	-64616.28	-68.16	47.72
		90		874.74	874.74	0.00	974.42	-60295.05	480.09
		180		848.77	0.00	848.77	59413.37	-68.16	-42.52
T7	59'1/4"-39'4-3/32"	0	Wind Normal	855.35	0.00	-855.35	-40930.05	-79.94	50.72
		90		794.57	794.57	0.00	1135.69	-39156.56	513.22
		180		774.31	0.00	774.31	39215.95	-79.94	-45.92
T8	39'4-3/32"-19'8-1/32"	0	Wind Normal	818.04	0.00	-818.04	-22842.07	-91.69	53.05
		90		756.54	756.54	0.00	1296.62	-22415.40	532.03
		180		736.03	0.00	736.03	23015.34	-91.69	-47.73
T9	19'8-1/32"-0'	0	Wind Normal	1003.65	0.00	-1003.65	-8414.97	-103.39	60.24
		90		913.87	913.87	0.00	1456.84	-9092.19	592.81
		180		883.95	0.00	883.95	10151.30	-103.39	-53.06

Mast Totals - Service					
Wind Azimuth °	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
0	0.00	-7075.22	-563745.52	-513.85	343.68
90	6579.09	0.00	7479.92	-534739.61	3577.40
180	0.00	6413.71	529372.45	-513.85	-310.82

Discrete Appurtenance Pressures - No Ice									
Description	Aiming Azimuth °	Weight lb	Offset _x ft	Offset _z ft	z ft	K _z	q _z psf	G _H = 1.122	
								C _A A _c Front ft ²	C _A A _c Side ft ²
ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	0.0000	180.15	0'	-3'-13/32"	174'	1.608	26	20.48	0.00
ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	120.0000	180.15	2'-9-1/4"	1'-7-3/16"	174'	1.608	26	20.48	0.00
ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	240.0000	180.15	-2'-9-1/4"	1'-7-3/16"	174'	1.608	26	20.48	0.00
Sum Weight:		540.45							

Continuación del anexo 2.

Discrete Appurtenance Vectors - No Ice									
<i>ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe - Elevation 174 - From Leg A</i>									
Wind Azimuth °	F_a lb	F_x lb	V_x lb	V_z lb	OTM_x lb-ft	OTM_z lb-ft	Torque lb-ft		
0	605.38	0.00	0.00	-605.38	-105911.16	0.00	0.00		
90	0.00	0.00	0.00	0.00	-575.85	0.00	0.00		
180	605.38	0.00	0.00	605.38	104759.47	0.00	0.00		
<i>ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe - Elevation 174 - From Leg B</i>									
Wind Azimuth °	F_a lb	F_x lb	V_x lb	V_z lb	OTM_x lb-ft	OTM_z lb-ft	Torque lb-ft		
0	302.69	0.00	-262.14	-151.34	-26045.91	45112.83	0.00		
90	524.27	0.00	454.03	262.14	45899.45	-79500.18	0.00		
180	302.69	0.00	262.14	151.34	26621.75	-46110.22	0.00		
<i>ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe - Elevation 174 - From Leg C</i>									
Wind Azimuth °	F_a lb	F_x lb	V_x lb	V_z lb	OTM_x lb-ft	OTM_z lb-ft	Torque lb-ft		
0	302.69	0.00	262.14	-151.34	-26045.91	-45112.83	0.00		
90	524.27	0.00	454.03	-262.14	-45323.61	-78502.79	0.00		
180	302.69	0.00	-262.14	151.34	26621.75	46110.22	0.00		
Discrete Appurtenance Totals - No Ice									
Wind Azimuth °	V_x lb	V_z lb	OTM_x lb-ft	OTM_z lb-ft	Torque lb-ft				
0	0.00	-908.06	-158002.97	0.00	0.00				
90	908.06	0.00	0.00	-158002.97	0.00				
180	0.00	908.06	158002.97	0.00	0.00				
Discrete Appurtenance Pressures - Service $G_H = 1.122$									
Description	Aiming Azimuth °	Weight lb	Offset _x ft	Offset _z ft	z ft	K_x	q_z psf	C_{A_c} Front ft ²	C_{A_c} Side ft ²
ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	0.0000	180.15	0'	-3'-2-13/32"	174'	1.608	10	20.48	0.00
ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	120.0000	180.15	2'-9-1/4"	1'-7-3/16"	174'	1.608	10	20.48	0.00
ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	240.0000	180.15	-2'-9-1/4"	1'-7-3/16"	174'	1.608	10	20.48	0.00
	Sum Weight:	540.45							

Continuación del anexo 2.

Discrete Appurtenance Vectors - Service								
<i>ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe - Elevation 174 - From Leg A</i>								
<i>Wind Azimuth</i> °	<i>F_a</i> lb	<i>F_s</i> lb	<i>V_x</i> lb	<i>V_z</i> lb	<i>OTM_x</i> lb-ft	<i>OTM_z</i> lb-ft	<i>Torque</i> lb-ft	
0	236.47	0.00	0.00	-236.47	-41722.45	0.00	0.00	
90	0.00	0.00	0.00	0.00	-575.85	0.00	0.00	
180	236.47	0.00	0.00	236.47	40570.76	0.00	0.00	
<i>ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe - Elevation 174 - From Leg B</i>								
<i>Wind Azimuth</i> °	<i>F_a</i> lb	<i>F_s</i> lb	<i>V_x</i> lb	<i>V_z</i> lb	<i>OTM_x</i> lb-ft	<i>OTM_z</i> lb-ft	<i>Torque</i> lb-ft	
0	118.24	0.00	-102.40	-59.12	-9998.73	17318.31	0.00	
90	204.79	0.00	177.36	102.40	18104.93	-31358.65	0.00	
180	118.24	0.00	102.40	59.12	10574.57	-18315.70	0.00	
<i>ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe - Elevation 174 - From Leg C</i>								
<i>Wind Azimuth</i> °	<i>F_a</i> lb	<i>F_s</i> lb	<i>V_x</i> lb	<i>V_z</i> lb	<i>OTM_x</i> lb-ft	<i>OTM_z</i> lb-ft	<i>Torque</i> lb-ft	
0	118.24	0.00	102.40	-59.12	-9998.73	-17318.31	0.00	
90	204.79	0.00	177.36	-102.40	-17529.08	-30361.26	0.00	
180	118.24	0.00	-102.40	59.12	10574.57	18315.70	0.00	
Discrete Appurtenance Totals - Service								
<i>Wind Azimuth</i> °	<i>V_x</i> lb	<i>V_z</i> lb	<i>OTM_x</i> lb-ft	<i>OTM_z</i> lb-ft	<i>Torque</i> lb-ft			
0	0.00	-354.71	-61719.91	0.00	0.00			
90	354.71	0.00	0.00	-61719.91	0.00			
180	0.00	354.71	61719.91	0.00	0.00			
Dish Pressures - No Ice								
<i>Elevation</i> ft	<i>Dish Description</i>	<i>Aiming Azimuth</i> °	<i>Weight</i> lb	<i>Offset_x</i> ft	<i>Offset_z</i> ft	<i>K_z</i>	<i>A_d</i> ft ²	<i>q_z</i> psf
167'	4 FT DISH	180.0000	340.00	0'	1'7-3/16"	1.589	25.12	26
164'	Andrew 2' w/Radome	180.0000	210.00	0'	1'7-3/16"	1.581	9.42	26
	Sum		550.00					
	Weight:							

Continuación del anexo 2.

Dish Vectors - No Ice											
<i>4 FT DISH - Elevation 167 - From Face C</i>											
Wind Azimuth °	C _A	C _S	C _M	F _A lb	F _S lb	F _M lb	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
0	0.003970	0.000000	0.000000	1138.06	0.00	0.00	0.00	-1138.06	-189513.15	0.00	0.00
90	-0.000030	0.000880	0.000336	-8.60	252.27	4623.35	252.27	8.60	1979.60	-42128.40	788.46
180	-0.002700	0.000000	0.000000	-774.00	0.00	0.00	0.00	774.00	129801.00	0.00	0.00
<i>Andrew 2' w/Radome - Elevation 164 - From Face C</i>											
Wind Azimuth °	C _A	C _S	C _M	F _A lb	F _S lb	F _M lb	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
0	0.003970	0.000000	0.000000	424.57	0.00	0.00	0.00	-424.57	-69293.69	0.00	0.00
90	-0.000030	0.000880	0.000336	-3.21	94.11	862.40	94.11	3.21	861.80	-15434.21	222.28
180	-0.002700	0.000000	0.000000	-288.75	0.00	0.00	0.00	288.75	47690.58	0.00	0.00
Dish Totals - No Ice											
Wind Azimuth °	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft						
0	0.00	-1562.63	-258806.84	0.00	0.00						
90	346.38	11.81	2841.39	-57562.61	1010.74						
180	0.00	1062.75	177491.59	0.00	0.00						
Dish Pressures - Service											
Elevation ft	Dish Description	Aiming Azimuth °	Weight lb	Offset _x ft	Offset _z ft	K _w	A _A ft ²	q _z psf			
167'	4 FT DISH	180.0000	340.00	0'	1'7-3/16"	1.589	25.12	10			
164'	Andrew 2' w/Radome	180.0000	210.00	0'	1'7-3/16"	1.581	9.42	10			
	Sum		550.00								
	Weight:										
Dish Vectors - Service											
<i>4 FT DISH - Elevation 167 - From Face C</i>											
Wind Azimuth °	C _A	C _S	C _M	F _A lb	F _S lb	F _M lb	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
0	0.003970	0.000000	0.000000	444.56	0.00	0.00	0.00	-444.56	-73697.44	0.00	0.00
90	-0.000030	0.000880	0.000336	-3.36	98.54	1805.99	98.54	3.36	1104.41	-16456.41	307.99
180	-0.002700	0.000000	0.000000	-302.34	0.00	0.00	0.00	302.34	51034.65	0.00	0.00
<i>Andrew 2' w/Radome - Elevation 164 - From Face C</i>											
Wind Azimuth °	C _A	C _S	C _M	F _A lb	F _S lb	F _M lb	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
0	0.003970	0.000000	0.000000	165.85	0.00	0.00	0.00	-165.85	-26863.32	0.00	0.00
90	-0.000030	0.000880	0.000336	-1.25	36.76	336.87	36.76	1.25	541.16	-6028.99	86.83
180	-0.002700	0.000000	0.000000	-112.79	0.00	0.00	0.00	112.79	18833.66	0.00	0.00

Continuación del anexo 2.

Dish Totals - Service					
Wind Azimuth °	V _x lb	V _z lb	OTM _x lb-ft	OTM _z lb-ft	Torque lb-ft
0	0.00	-610.40	-100560.76	0.00	0.00
90	135.30	4.61	1645.58	-22485.39	394.82
180	0.00	415.14	69868.31	0.00	0.00

Force Totals						
Load Case	Vertical Forces lb	Sum of Forces X lb	Sum of Forces Z lb	Sum of Overturning Moments, M _x lb-ft	Sum of Overturning Moments, M _z lb-ft	Sum of Torques lb-ft
Leg Weight	5521.31					
Bracing Weight	6980.12					
Total Member Self-Weight	12501.43			8358.95	-513.85	
Total Weight	15593.08			8358.95	-513.85	
Wind 0 deg - No Ice		0.00	-20583.27	-1871667.02	-513.85	879.82
Wind 90 deg - No Ice		18096.90	11.81	10321.31	-1583697.37	10168.87
Wind 180 deg - No Ice		0.00	18389.90	1679019.36	-513.85	-795.70
Total Weight	15593.08			8358.95	-513.85	
Wind 0 deg - Service		0.00	-8040.34	-733506.11	0.00	343.68
Wind 90 deg - Service		7069.10	4.61	1645.58	-618431.06	3972.22
Wind 180 deg - Service		0.00	7183.56	653480.75	0.00	-310.82

Load Combinations	
Comb. No.	Description
1	Dead Only
2	Dead+Wind 0 deg - No Ice
3	IBC .6 Dead+Wind 0 deg - No Ice
4	Dead+Wind 90 deg - No Ice
5	IBC .6 Dead+Wind 90 deg - No Ice
6	Dead+Wind 180 deg - No Ice
7	IBC .6 Dead+Wind 180 deg - No Ice
8	Dead+Wind 0 deg - Service
9	Dead+Wind 90 deg - Service
10	Dead+Wind 180 deg - Service

Maximum Member Forces							
Section No.	Elevation ft	Component Type	Condition	Gov. Load Comb.	Force lb	Major Axis Moment lb-ft	Minor Axis Moment lb-ft
T1	177.12 -	Leg	Max Tension	7	6282.39	0.00	0.00

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Component Type	Condition	Gov. Load Comb.	Force lb	Major Axis Moment lb-ft	Minor Axis Moment lb-ft	
T2	157.411	Diagonal	Max. Compression	2	-7735.82	0.32	69.83	
			Max. Mx	4	-268.88	227.65	0.00	
			Max. My	2	611.59	0.00	-414.62	
			Max. Vy	4	286.44	0.00	0.00	
			Max. Vx	2	-288.40	0.00	0.00	
			Max Tension	2	1371.92	0.00	0.00	
			Max. Compression	2	-1286.47	0.00	0.00	
			Max. Mx	6	1039.53	3.82	-0.29	
			Max. My	4	-1142.88	0.13	-1.14	
			Max. Vy	6	2.83	3.82	-0.29	
	Top Girt			Max. Vx	4	0.34	0.13	-1.14
				Max Tension	7	41.37	0.00	0.00
				Max. Compression	2	-71.49	0.00	0.00
				Max. Mx	1	-7.56	-6.88	0.00
				Max. My	4	-4.61	0.00	-0.00
				Max. Vy	1	4.97	0.00	0.00
				Max. Vx	4	0.00	0.00	0.00
	Leg	157.411 - 137.703		Max Tension	7	21885.02	0.00	0.00
				Max. Compression	2	-26514.71	1.21	240.42
				Max. Mx	4	-17142.20	-161.03	-60.00
Max. My				2	-26514.71	1.21	240.42	
Max. Vy				4	98.02	-161.03	-60.00	
Max. Vx				2	-118.21	1.21	240.42	
Max Tension				2	1930.53	0.00	0.00	
Max. Compression				2	-2108.68	0.00	0.00	
Max. Mx				2	1724.28	29.06	5.63	
Max. My				6	-1487.51	-17.87	8.11	
Leg	137.703 - 118.031		Max. Vy	2	-11.95	29.06	5.63	
			Max. Vx	6	-2.40	-17.87	8.11	
			Max Tension	7	31757.30	-265.66	0.93	
			Max. Compression	2	-38488.18	304.53	-1.00	
			Max. Mx	2	-38488.18	304.53	-1.00	
			Max. My	3	17852.89	-140.56	-137.03	
			Max. Vy	2	-135.12	304.53	-1.00	
			Max. Vx	3	92.67	-140.56	-137.03	
			Max Tension	4	1301.70	0.00	0.00	
			Max. Compression	2	-1343.69	0.00	0.00	
Leg	118.031 - 98.3594		Max. Mx	2	1219.11	25.84	4.61	
			Max. My	4	-1280.07	-7.21	-8.83	
			Max. Vy	2	-10.45	25.84	4.61	
			Max. Vx	4	2.59	0.00	0.00	
			Max Tension	7	39506.63	0.00	0.00	
			Max. Compression	2	-47810.28	328.29	-1.20	
			Max. Mx	3	-47147.88	332.63	-1.23	
			Max. My	2	21356.19	-186.07	-344.42	
			Max. Vy	3	-156.23	332.63	-1.23	
			Max. Vx	2	145.94	-186.07	-344.42	
Diagonal			Max Tension	4	1645.36	0.00	0.00	
			Max. Compression	4	-1669.47	0.00	0.00	
			Max. Mx	2	1417.64	19.08	-1.94	
			Max. My	4	-1575.04	-0.49	-4.67	
			Max. Vy	6	9.12	17.56	1.01	
			Max. Vx	4	1.14	0.00	0.00	
			Max Tension	7	47999.24	0.00	0.00	
			Max. Compression	2	-57942.29	415.71	-1.71	
			Max. Mx	2	-57942.29	415.71	-1.71	

Continuación del anexo 2.

<i>Section No.</i>	<i>Elevation ft</i>	<i>Component Type</i>	<i>Condition</i>	<i>Gov. Load Comb.</i>	<i>Force lb</i>	<i>Major Axis Moment lb-ft</i>	<i>Minor Axis Moment lb-ft</i>
T6	78.6875 - 59.0156	Diagonal	Max. My	2	22874.25	-186.08	-344.42
			Max. Vy	3	-173.76	413.80	-1.73
			Max. Vx	2	-150.41	-186.08	-344.42
			Max Tension	4	1954.55	0.00	0.00
			Max. Compression	4	-1995.23	0.00	0.00
			Max. Mx	2	1618.78	20.58	-1.93
			Max. My	4	-1933.65	6.38	-3.21
		Leg	Max. Vy	6	10.52	20.12	2.28
			Max. Vx	4	0.77	0.00	0.00
			Max Tension	7	56407.63	0.00	0.00
			Max. Compression	2	-68166.46	558.67	-1.93
			Max. Mx	3	-67071.96	560.86	-1.94
			Max. My	3	31036.43	-285.30	-391.39
			Max. Vy	3	-219.64	560.86	-1.94
T7	59.0156 - 39.3438	Diagonal	Max. Vx	3	177.80	-285.30	-391.39
			Max Tension	4	2337.43	0.00	0.00
			Max. Compression	4	-2387.93	0.00	0.00
			Max. Mx	2	1863.36	50.34	-4.32
			Max. My	4	-2221.17	8.51	-6.50
			Max. Vy	2	-19.68	50.34	-4.32
			Max. Vx	4	1.36	0.00	0.00
		Leg	Max Tension	7	64474.94	0.00	0.00
			Max. Compression	2	-78002.84	768.49	-2.46
			Max. Mx	2	-78002.84	768.49	-2.46
			Max. My	3	35279.57	-381.14	-446.93
			Max. Vy	3	-257.80	767.47	-2.47
			Max. Vx	2	204.62	-382.39	-446.20
			Max Tension	4	2870.82	0.00	0.00
T8	39.3438 - 19.6719	Diagonal	Max. Compression	4	-2961.28	0.00	0.00
			Max. Mx	2	2362.71	61.14	-7.64
			Max. My	4	-2863.76	19.91	-12.06
			Max. Vy	6	21.63	55.01	8.29
			Max. Vx	4	1.93	0.00	0.00
			Max Tension	7	73330.97	0.00	0.00
			Max. Compression	2	-88868.33	753.21	-2.79
		Leg	Max. Mx	2	-83306.24	768.49	-2.46
			Max. My	3	37670.90	-381.15	-446.93
			Max. Vy	3	249.84	767.47	-2.47
			Max. Vx	3	-197.61	-381.15	-446.93
			Max Tension	4	3212.49	0.00	0.00
			Max. Compression	4	-3293.02	0.00	0.00
			Max. Mx	2	2690.51	69.04	-8.56
T9	19.6719 - 0	Diagonal	Max. My	4	-3195.37	30.65	-13.71
			Max. Vy	6	24.14	64.10	9.04
			Max. Vx	4	2.02	0.00	0.00
			Max Tension	7	81986.13	-485.87	1.68
			Max. Compression	2	-99969.45	0.00	-0.00
			Max. Mx	2	-94153.66	753.21	-2.79
			Max. My	2	40391.65	-304.76	-810.90
		Leg	Max. Vy	3	263.41	512.32	-1.68
			Max. Vx	2	-268.76	-304.77	-810.90
			Max Tension	4	3803.55	0.00	0.00
			Max. Compression	4	-3891.99	0.00	0.00
			Max. Mx	2	3214.59	170.99	21.75
			Max. My	4	-3541.16	54.91	-28.33
			Max. Vy	2	-49.49	170.99	21.75
			Max. Vx	4	3.84	0.00	0.00

Continuación del anexo 2.

Maximum Reactions					
Location	Condition	Gov. Load Comb.	Vertical lb	Horizontal, X lb	Horizontal, Z lb
Leg C	Max. Vert	6	48931.90	4547.57	-4007.99
	Max. H _z	6	48931.90	4547.57	-4007.99
	Max. H _x	3	-45710.44	-4383.45	4021.74
	Min. Vert	5	-68098.99	-8178.72	3615.48
	Min. H _x	5	-68098.99	-8178.72	3615.48
	Min. H _z	6	48931.90	4547.57	-4007.99
Leg B	Max. Vert	4	76950.29	-8943.23	-4003.16
	Max. H _z	3	-45682.43	4360.47	4061.26
	Max. H _x	3	-45682.43	4360.47	4061.26
	Min. Vert	3	-45682.43	4360.47	4061.26
	Min. H _x	4	76950.29	-8943.23	-4003.16
	Min. H _z	6	48978.43	-4527.20	-4044.53
Leg A	Max. Vert	2	102756.20	23.21	12712.48
	Max. H _z	2	102756.20	23.21	12712.48
	Max. H _x	2	102756.20	23.21	12712.48
	Min. Vert	7	-84135.00	-20.56	-10551.04
	Min. H _x	5	2752.99	-1164.87	269.04
	Min. H _z	7	-84135.00	-20.56	-10551.04

Tower Mast Reaction Summary						
Load Combination	Vertical lb	Shear _x lb	Shear _z lb	Overturning Moment, M _x lb-ft	Overturning Moment, M _z lb-ft	Torque lb-ft
Dead Only	15593.08	-0.00	-0.04	8357.35	-513.80	-0.01
Dead+Wind 0 deg - No Ice	15593.07	-0.00	-20582.36	-1876340.88	-517.47	882.08
IBC .6 Dead+Wind 0 deg - No Ice	9355.84	-0.00	-20582.12	-1877717.71	-311.04	881.13
Dead+Wind 90 deg - No Ice	15593.08	18096.11	11.85	10385.71	-1587509.37	10202.63
IBC .6 Dead+Wind 90 deg - No Ice	9355.84	18095.84	11.92	7032.01	-1585684.21	10197.57
Dead+Wind 180 deg - No Ice	15593.08	-0.00	18388.96	1683173.38	-516.72	-797.66
IBC .6 Dead+Wind 180 deg - No Ice	9355.85	-0.00	18389.32	1678147.07	-310.45	-796.86
Dead+Wind 0 deg - Service	15593.08	-0.00	-8039.97	-727843.93	-515.46	344.56
Dead+Wind 90 deg - Service	15593.08	7068.79	4.61	9158.55	-620437.45	3985.14
Dead+Wind 180 deg - Service	15593.08	-0.00	7183.20	662607.59	-515.28	-311.58

Solution Summary							
Load Comb.	Sum of Applied Forces			Sum of Reactions			% Error
	PX lb	PY lb	PZ lb	PX lb	PY lb	PZ lb	
1	-0.00	-15593.08	-0.00	0.00	15593.08	0.04	0.000%
2	-0.00	-15593.08	-20583.27	0.00	15593.07	20582.36	0.004%
3	-0.00	-9355.85	-20583.27	0.00	9355.84	20582.12	0.005%
4	18096.90	-15593.08	11.81	-18096.11	15593.08	-11.85	0.003%
5	18096.90	-9355.85	11.81	-18095.84	9355.84	-11.92	0.005%

Continuación del anexo 2.

Load Comb.	Sum of Applied Forces			Sum of Reactions			% Error
	PX lb	PY lb	PZ lb	PX lb	PY lb	PZ lb	
6	-0.00	-15593.08	18389.90	0.00	15593.08	-18388.96	0.004%
7	-0.00	-9355.85	18389.90	0.00	9355.85	-18389.32	0.003%
8	0.00	-15593.08	-8040.34	0.00	15593.08	8039.97	0.002%
9	7069.10	-15593.08	4.61	-7068.79	15593.08	-4.61	0.002%
10	-0.00	-15593.08	7183.56	0.00	15593.08	-7183.20	0.002%

Non-Linear Convergence Results

Load Combination	Converged?	Number of Cycles	Displacement Tolerance	Force Tolerance
1	Yes	6	0.00000001	0.00000001
2	Yes	11	0.00000001	0.00010867
3	Yes	10	0.00000001	0.00012043
4	Yes	11	0.00000001	0.00011721
5	Yes	10	0.00000001	0.00013867
6	Yes	11	0.00000001	0.00012716
7	Yes	11	0.00000001	0.00007928
8	Yes	11	0.00000001	0.00011355
9	Yes	11	0.00000001	0.00011521
10	Yes	11	0.00000001	0.00012046

Maximum Tower Deflections - Service Wind

Section No.	Elevation ft	Horz. Deflection in	Gov. Load Comb.	Tilt °	Twist °
T1	177.12 - 157.411	5.593	8	0.3079	0.0313
T2	157.411 - 137.703	4.317	8	0.2960	0.0267
T3	137.703 - 118.031	3.161	8	0.2475	0.0206
T4	118.031 - 98.3594	2.248	8	0.1904	0.0147
T5	98.3594 - 78.6875	1.527	8	0.1522	0.0104
T6	78.6875 - 59.0156	0.958	8	0.1154	0.0068
T7	59.0156 - 39.3438	0.542	8	0.0790	0.0046
T8	39.3438 - 19.6719	0.253	8	0.0526	0.0027
T9	19.6719 - 0	0.069	8	0.0264	0.0010

Critical Deflections and Radius of Curvature - Service Wind

Elevation ft	Appurtenance	Gov. Load Comb.	Deflection in	Tilt °	Twist °	Radius of Curvature ft
174'	(3) ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	8	5.389	0.3074	0.0306	163626
167'	(2) 4 FT DISH	8	4.931	0.3051	0.0291	80844
164'	(3) Andrew 2' w/Radome	8	4.737	0.3032	0.0284	62358

Continuación del anexo 2.

Maximum Tower Deflections - Design Wind						
Section No.	Elevation ft	Horz. Deflection in	Gov. Load Comb.	Tilt °	Twist °	
T1	177.12 - 157.411	14.472	3	0.8009	0.0801	
T2	157.411 - 137.703	11.156	3	0.7682	0.0683	
T3	137.703 - 118.031	8.159	3	0.6407	0.0527	
T4	118.031 - 98.3594	5.799	3	0.4920	0.0377	
T5	98.3594 - 78.6875	3.939	3	0.3931	0.0267	
T6	78.6875 - 59.0156	2.469	3	0.2979	0.0174	
T7	59.0156 - 39.3438	1.395	3	0.2040	0.0117	
T8	39.3438 - 19.6719	0.651	3	0.1358	0.0070	
T9	19.6719 - 0	0.176	3	0.0681	0.0025	

Critical Deflections and Radius of Curvature - Design Wind						
Elevation ft	Appurtenance	Gov. Load Comb.	Deflection in	Tilt °	Twist °	Radius of Curvature ft
174'	(3) ADFD1820-6565B-XD w/Mount Pipe	3	13.940	0.7993	0.0784	63455
167'	(2) 4 FT DISH	3	12.751	0.7928	0.0744	31352
164'	(3) Andrew 2' w/Radome	3	12.247	0.7876	0.0726	24183

Bolt Design Data											
Section No.	Elevation ft	Component Type	Bolt Grade	Bolt Size in	Number Of Bolts	Maximum Load per Bolt lb	Allowable Load lb	Ratio Load Allowable	Allowable Ratio	Criteria	
T1	177.12	Leg	A325X	0.6250	4	1570.60	13499.00	0.116	✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.5000	1	1371.92	3171.88	0.433	✓	1.333	Member Bearing
T2	157.411	Leg	A325X	0.6250	4	5471.25	13498.90	0.405	✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.5000	1	1930.53	4757.81	0.406	✓	1.333	Member Bearing
T3	137.703	Leg	A325X	0.6250	4	7939.32	13498.90	0.588	✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.5000	1	1301.70	4757.81	0.274	✓	1.333	Member Bearing
T4	118.031	Leg	A325X	0.6250	4	9876.66	13498.80	0.732	✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.5000	1	1645.36	4757.81	0.346	✓	1.333	Member Bearing
T5	98.3594	Leg	A325X	0.8750	6	7999.87	26458.00	0.302	✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.5000	1	1954.55	4757.81	0.411	✓	1.333	Member Bearing
T6	78.6875	Leg	A325X	0.8750	6	9401.27	26458.00	0.355	✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.6250	1	2337.43	6117.19	0.382	✓	1.333	Member Bearing
T7	59.0156	Leg	A325X	0.8750	6	10745.80	26458.00	0.406	✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.6250	1	2870.82	6117.19	0.469	✓	1.333	Member Bearing
T8	39.3438	Leg	A325X	1.0000	8	9166.37	34557.50	0.265	✓	1.333	Bolt Tension

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Component Type	Bolt Grade	Bolt Size in	Number Of Bolts	Maximum Load per Bolt lb	Allowable Load lb	Ratio Load/Allowable	Allowable Ratio	Criteria
T9	19.6719	Diagonal	A325X	0.6250	1	3212.49	6117.19	0.525 ✓	1.333	Member Bearing
		Leg	A325X	1.0000	10	8198.61	34557.50	0.237 ✓	1.333	Bolt Tension
		Diagonal	A325X	0.8750	1	3803.55	10875.00	0.350 ✓	1.333	Member Bearing
Compression Checks										
Leg Design Data (Compression)										
Section No.	Elevation ft	Size	L ft	L _u ft	Kl/r	F _a ksi	A in ²	Actual P lb	Allow. P _a lb	Ratio P/P _a
T1	177.12 - 157.411	2"STD_PIPE	19'8-17/32"	3'11-9/32"	60.1	19.774	1.0745	-2442.82	21247.70	0.115
T2	157.411 - 137.703	2_1/2"STD_PIPE	19'8-17/32"	3'11-9/32"	49.9	20.998	1.7040	-26514.70	35782.40	0.741
T3	137.703 - 118.031	3"STD_PIPE	19'8-5/8"	4'11-5/32"	50.8	20.893	2.2285	-38488.20	46558.60	0.827
T4	118.031 - 98.3594	4"STD_PIPE	19'8-5/8"	6'6-27/32"	52.3	20.727	3.1741	-47810.30	65790.10	0.727
T5	98.3594 - 78.6875	4"STD_PIPE	19'8-5/8"	6'6-27/32"	52.3	20.728	3.1741	-57942.30	65791.40	0.881
T6	78.6875 - 59.0156	4"STD_PIPE	19'8-5/8"	6'6-27/32"	52.3	20.727	3.1741	-68166.50	65790.00	1.036
T7	59.0156 - 39.3438	5"STD_PIPE	19'8-5/8"	9'10-5/16"	63.0	19.402	4.2999	-78002.80	83426.80	0.935
T8	39.3438 - 19.6719	5"STD_PIPE	19'8-5/8"	9'10-5/16"	63.0	19.402	4.2999	-88868.30	83427.40	1.065
T9	19.6719 - 0	5"STD_PIPE	19'8-5/8"	9'10-5/16"	63.0	19.403	4.2999	-99835.90	83428.30	1.197
Leg Bending Design Data (Compression)										
Section No.	Elevation ft	Size	Actual M _x lb-ft	Actual f _{bx} ksi	Allow. F _{bx} ksi	Ratio f _{bx} /F _{bx}	Actual M _y lb-ft	Actual f _{by} ksi	Allow. F _{by} ksi	Ratio f _{by} /F _{by}
T1	177.12 - 157.411	2"STD_PIPE	412.04	-8.819	27.720	0.318	0.00	0.000	27.720	0.000
T2	157.411 - 137.703	2_1/2"STD_PIPE	240.42	-2.711	27.720	0.098	0.00	0.000	27.720	0.000
T3	137.703 - 118.031	3"STD_PIPE	304.53	-2.120	27.720	0.076	0.00	0.000	27.720	0.000
T4	118.031 - 98.3594	4"STD_PIPE	328.29	-1.226	27.720	0.044	0.00	0.000	27.720	0.000
T5	98.3594 - 78.6875	4"STD_PIPE	415.71	-1.552	27.720	0.056	0.00	0.000	27.720	0.000
T6	78.6875 - 59.0156	4"STD_PIPE	558.67	-2.086	27.720	0.075	0.00	0.000	27.720	0.000

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Size	Actual M_x lb-ft	Actual f_{bx} ksi	Allow. F_{bx} ksi	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Actual M_y lb-ft	Actual f_{by} ksi	Allow. F_{by} ksi	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$
T7	59.0156 - 39.3438	5"STD_PIPE	768.49	-1.692	27.720	0.061	0.00	0.000	27.720	0.000
T8	39.3438 - 19.6719	5"STD_PIPE	753.22	-1.658	27.720	0.060	0.00	0.000	27.720	0.000
T9	19.6719 - 0	5"STD_PIPE	499.00	-1.098	27.720	0.040	0.00	0.000	27.720	0.000

Leg Interaction Design Data (Compression)

Section No.	Elevation ft	Size	Ratio $\frac{P}{P_a}$	Ratio $\frac{f_m}{F_{bx}}$	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$	Comb. Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria
T1	177.12 - 157.411	2"STD_PIPE	0.115	0.318	0.000	0.433	1.333	H1-3 ✓
T2	157.411 - 137.703	2_1/2"STD_PIPE	0.741	0.098	0.000	0.839	1.333	H1-3 ✓
T3	137.703 - 118.031	3"STD_PIPE	0.827	0.076	0.000	0.903	1.333	H1-3 ✓
T4	118.031 - 98.3594	4"STD_PIPE	0.727	0.044	0.000	0.771	1.333	H1-3 ✓
T5	98.3594 - 78.6875	4"STD_PIPE	0.881	0.056	0.000	0.937	1.333	H1-3 ✓
T6	78.6875 - 59.0156	4"STD_PIPE	1.036	0.075	0.000	1.111	1.333	H1-3 ✓
T7	59.0156 - 39.3438	5"STD_PIPE	0.935	0.061	0.000	0.996	1.333	H1-3 ✓
T8	39.3438 - 19.6719	5"STD_PIPE	1.065	0.060	0.000	1.125	1.333	H1-3 ✓
T9	19.6719 - 0	5"STD_PIPE	1.197	0.040	0.000	1.236	1.333	H1-3 ✓

Diagonal Design Data (Compression)

Section No.	Elevation ft	Size	L ft	L_u ft	Kl/r	F_a ksi	A in ²	Actual P lb	Allow. P_a lb	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x1/8	6'9"-19/32"	3'1"-29/32"	128.1 K=1.00	9.099	0.3594	-1285.24	3269.84	0.393
T2	157.411 - 137.703	L2x2x3/16	6'9"-19/32"	3'1"-11/16"	101.6 K=1.06	12.768	0.7150	-1701.51	9129.39	0.186
T3	137.703 - 118.031	L2x2x3/16	8'6"-27/32"	4'2"-5/32"	127.3 521	9.222	0.7150	-1276.95	6593.41	0.194
T4	118.031 - 98.3594	L2x2x3/16	11'10"-9/16"	5'10"-3/32"	177.8 K=1.00	4.723	0.7150	-1665.28	3376.63	0.493
T5	98.3594 - 78.6875	L2x2x3/16	13'10"-29/32"	6'10"-3/16"	208.7 K=1.00	3.429	0.7150	-1991.08	2451.53	0.812
T6	78.6875 - 59.0156	L3x3x3/16	16'23/32"	7'10"-29/32"	159.2 K=1.00	5.891	1.0900	-2381.64	6421.11	0.371
T7	59.0156 -	L3x3x3/16	19'6"-1/4"	9'8"-13/32"	195.3	3.915	1.0900	-2951.80	4266.98	0.692

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Size	L ft	L _x ft	KL/r	F _a ksi	A in ²	Actual P lb	Allow. P _a lb	Ratio P P _a
T8	39.3438 39.3438 - 19.6719	L3x3x3/16	21'7-5/16'	10'8-7/8"	K=1.00 216.3 K=1.00	3.191	1.0900	-3283.60	3477.99	0.944
T9	19.6719 - 0	KL/R > 200 (C) - 179 L4x4x1/4	23'9"	11'9-3/8"	177.8 K=1.00	4.723	1.9400	-3875.31	9163.36	0.423

Diagonal Bending Design Data

Section No.	Elevation ft	Size	Actual M _x lb-ft	Actual f _{bx} ksi	Allow. F _{bx} ksi	Ratio f _{bx} F _{bx}	Actual M _y lb-ft	Actual f _{by} ksi	Allow. F _{by} ksi	Ratio f _{by} F _{by}
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x1/8	-0.86	-0.085	21.600	0.004	-1.19	-0.229	21.600	0.011
T2	157.411 - 137.703	L2x2x3/16	-9.79	-0.366	23.760	0.015	-19.53	-1.417	23.760	0.060
T3	137.703 - 118.031	L2x2x3/16	-7.33	-0.274	23.760	0.012	-13.74	-0.997	23.760	0.042
T4	118.031 - 98.3594	L2x2x3/16	-4.39	-0.164	23.760	0.007	-7.12	-0.516	23.760	0.022
T5	98.3594 - 78.6875	L2x2x3/16	-5.71	-0.213	23.760	0.009	-8.15	-0.592	23.760	0.025
T6	78.6875 - 59.0156	L3x3x3/16	-14.41	-0.232	20.869	0.011	-18.85	-0.603	20.869	0.029
T7	59.0156 - 39.3438	L3x3x3/16	-18.34	-0.295	20.869	0.014	-22.70	-0.726	20.869	0.035
T8	39.3438 - 19.6719	L3x3x3/16	-21.24	-0.342	20.869	0.016	-26.94	-0.861	20.869	0.041
T9	19.6719 - 0	L4x4x1/4	-50.06	-0.339	20.869	0.016	-61.04	-0.828	20.869	0.040

Diagonal Interaction Design Data

Section No.	Elevation ft	Size	Ratio P P _a	Ratio f _{bx} F _{bx}	Ratio f _{by} F _{by}	Comb. Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x1/8	0.393	0.004	0.011	0.408	1.333	HI-3 ✓
T2	157.411 - 137.703	L2x2x3/16	0.186	0.015	0.060	0.261	1.333	HI-3 ✓
T3	137.703 - 118.031	L2x2x3/16	0.194	0.012	0.042	0.247	1.333	HI-3 ✓
T4	118.031 - 98.3594	L2x2x3/16	0.493	0.007	0.022	0.522	1.333	HI-3 ✓
T5	98.3594 - 78.6875	L2x2x3/16	0.812	0.009	0.025	0.846	1.333	HI-3 ✓
T6	78.6875 - 59.0156	L3x3x3/16	0.371	0.011	0.029	0.411	1.333	HI-3 ✓
T7	59.0156 - 39.3438	L3x3x3/16	0.692	0.014	0.035	0.741	1.333	HI-3 ✓
T8	39.3438 -	L3x3x3/16	0.944	0.016	0.041	1.002	1.333	HI-3 ✓

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Size	Ratio $\frac{P}{P_a}$	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$	Comb. Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria
T9	19.6719 - 0	L4x4x1/4	0.423	0.016	0.040	0.479	1.333	HI-3 ✓

Top Girt Design Data (Compression)										
Section No.	Elevation ft	Size	L ft	L_u ft	Kl/r	F_a ksi	A in ²	Actual P lb	Allow. P_a lb	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x3/16	5'6-15/32'	5'4-3/32'	180.5 K=0.83	4.583	0.5273	-71.49	2416.95	0.030 ✓

Tension Checks										
----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Leg Design Data (Tension)										
Section No.	Elevation ft	Size	L ft	L_u ft	Kl/r	F_a ksi	A in ²	Actual P lb	Allow. P_a lb	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T1	177.12 - 157.411	2"STD_PIPE	19'8-17/32"	3'11-9/32"	60.1	25.200	1.0745	857.03	27078.20	0.032
T2	157.411 - 137.703	2 1/2"STD_PIPE	19'8-17/32"	3'11-9/32"	49.9	25.200	1.7040	21882.80	42942.10	0.510
T3	137.703 - 118.031	3"STD_PIPE	19'8-5/8"	4'11-5/32"	50.8	25.200	2.2285	31757.30	56157.40	0.566
T4	118.031 - 98.3594	4"STD_PIPE	19'8-5/8"	6'6-27/32"	52.3	25.200	3.1741	39495.80	79986.00	0.494
T5	98.3594 - 78.6875	4"STD_PIPE	19'8-5/8"	6'6-27/32"	52.3	25.200	3.1741	47988.30	79986.00	0.600
T6	78.6875 - 59.0156	4"STD_PIPE	19'8-5/8"	6'6-27/32"	52.3	25.200	3.1741	56399.10	79986.00	0.705
T7	59.0156 - 39.3438	5"STD_PIPE	19'8-5/8"	9'10-5/16"	63.0	25.200	4.2999	64436.70	108357.00	0.595
T8	39.3438 - 19.6719	5"STD_PIPE	19'8-5/8"	9'10-5/16"	63.0	25.200	4.2999	73291.10	108357.00	0.676
T9	19.6719 - 0	5"STD_PIPE	19'8-5/8"	9'10-5/16"	63.0	25.200	4.2999	81986.10	108357.00	0.757

Leg Bending Design Data (Tension)										
Section No.	Elevation ft	Size	Actual M_x lb-ft	Actual f_{bx} ksi	Allow. F_{bx} ksi	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Actual M_y lb-ft	Actual f_{by} ksi	Allow. F_{by} ksi	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$
T1	177.12 - 157.411	2"STD_PIPE	413.65	8.854	27.720	0.319	0.00	0.000	27.720	0.000

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Size	Actual M_x lb-ft	Actual f_{bx} ksi	Allow. F_{bx} ksi	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Actual M_y lb-ft	Actual f_{by} ksi	Allow. F_{by} ksi	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$
T2	157.411 - 137.703	2 1/2"STD_PIPE	203.67	2.297	27.720	0.083	0.00	0.000	27.720	0.000
T3	137.703 - 118.031	3"STD_PIPE	265.67	1.849	27.720	0.067	0.00	0.000	27.720	0.000
T4	118.031 - 98.3594	4"STD_PIPE	311.05	1.161	27.720	0.042	0.00	0.000	27.720	0.000
T5	98.3594 - 78.6875	4"STD_PIPE	362.32	1.353	27.720	0.049	0.00	0.000	27.720	0.000
T6	78.6875 - 59.0156	4"STD_PIPE	512.53	1.913	27.720	0.069	0.00	0.000	27.720	0.000
T7	59.0156 - 39.3438	5"STD_PIPE	690.87	1.521	27.720	0.055	0.00	0.000	27.720	0.000
T8	39.3438 - 19.6719	5"STD_PIPE	648.93	1.429	27.720	0.052	0.00	0.000	27.720	0.000
T9	19.6719 - 0	5"STD_PIPE	485.87	1.070	27.720	0.039	0.00	0.000	27.720	0.000

Leg Interaction Design Data (Tension)									
Section No.	Elevation ft	Size	Ratio $\frac{P}{P_a}$	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$	Comb. Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria	
T1	177.12 - 157.411	2"STD_PIPE	0.032	0.319	0.000	0.351	1.333	H2-1	✓
T2	157.411 - 137.703	2 1/2"STD_PIPE	0.510	0.083	0.000	0.592	1.333	H2-1	✓
T3	137.703 - 118.031	3"STD_PIPE	0.566	0.067	0.000	0.632	1.333	H2-1	✓
T4	118.031 - 98.3594	4"STD_PIPE	0.494	0.042	0.000	0.536	1.333	H2-1	✓
T5	98.3594 - 78.6875	4"STD_PIPE	0.600	0.049	0.000	0.649	1.333	H2-1	✓
T6	78.6875 - 59.0156	4"STD_PIPE	0.705	0.069	0.000	0.774	1.333	H2-1	✓
T7	59.0156 - 39.3438	5"STD_PIPE	0.595	0.055	0.000	0.650	1.333	H2-1	✓
T8	39.3438 - 19.6719	5"STD_PIPE	0.676	0.052	0.000	0.728	1.333	H2-1	✓
T9	19.6719 - 0	5"STD_PIPE	0.757	0.039	0.000	0.795	1.333	H2-1	✓

Diagonal Design Data (Tension)										
Section No.	Elevation ft	Size	L ft	L_u ft	KI/r	F_a ksi	A in ²	Actual P lb	Allow. P _a lb	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x1/8	6'9-19/32'	3'1-29/32'	126.8	21.600	0.3594	1366.32	7762.50	0.176
T2	157.411 - 137.703	L2x2x3/16	6'9-19/32'	3'1-11/16'	94.8	21.600	0.7150	1726.64	15444.00	0.112
T3	137.703 -	L2x2x3/16	8'1-3/32"	3'11-9/32'	114.8	21.600	0.7150	1221.93	15444.00	0.079

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Size	L ft	I_x ft	KI/r	F_a ksi	A in ²	Actual P lb	Allow. P_a lb	Ratio $\frac{P}{P_a}$
T4	118.031 118.031 - 98.3594	L2x2x3/16	11'2-5/8"	5'6-1/4"	159.5	21.600	0.7150	1450.90	15444.00	0.094
T5	98.3594 - 78.6875	L2x2x3/16	13'10-29/ 32"	6'10-3/16"	198.9	21.600	0.7150	1911.14	15444.00	0.124
T6	78.6875 - 59.0156	L3x3x3/16	16'23/32"	7'10-29/3 2"	151.4	21.600	1.0900	2331.56	23544.00	0.099
T7	59.0156 - 39.3438	L3x3x3/16	19'6-1/4"	9'8-13/32"	184.1	21.600	1.0900	2779.76	23544.00	0.118
T8	39.3438 - 19.6719	L3x3x3/16	21'7-5/16"	10'8-7/8"	204.3	21.600	1.0900	3065.91	23544.00	0.130
T9	19.6719 - 0	L4x4x1/4	23'9"	11'9-3/8"	168.9	21.600	1.9400	3230.35	41904.00	0.077

Diagonal Bending Design Data										
Section No.	Elevation ft	Size	Actual M_x lb-ft	Actual f_{bx} ksi	Allow. F_{bx} ksi	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Actual M_y lb-ft	Actual f_{by} ksi	Allow. F_{by} ksi	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x1/8	2.20	0.217	23.760	0.009	2.51	0.485	23.760	0.020
T2	157.411 - 137.703	L2x2x3/16	16.57	0.619	23.760	0.026	24.53	1.780	23.760	0.075
T3	137.703 - 118.031	L2x2x3/16	15.01	0.561	23.760	0.024	21.53	1.562	23.760	0.066
T4	118.031 - 98.3594	□□□□□□□□□□□□□□□□2.17	12.17	0.455	23.760	0.019	14.82	1.075	23.760	0.045
T5	98.3594 - 78.6875	L2x2x3/16	12.03	0.450	23.760	0.019	14.63	1.062	23.760	0.045
T6	78.6875 - 59.0156	L3x3x3/16	26.56	0.427	23.760	0.018	32.24	1.031	23.760	0.043
T7	59.0156 - 39.3438	L3x3x3/16	33.39	0.537	23.760	0.023	43.61	1.394	23.760	0.059
T8	39.3438 - 19.6719	L3x3x3/16	39.43	0.634	23.760	0.027	51.05	1.632	23.760	0.069
T9	19.6719 - 0	L4x4x1/4	105.53	0.715	23.760	0.030	136.29	1.848	23.760	0.078

Diagonal Interaction Design Data									
Section No.	Elevation ft	Size	Ratio $\frac{P}{P_a}$	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$	Comb. Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria	
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x1/8	0.176	0.009	0.020	0.206	1.333	H2-1 ✓	
T2	157.411 - 137.703	L2x2x3/16	0.112	0.026	0.075	0.213	1.333	H2-1 ✓	
T3	137.703 - 118.031	L2x2x3/16	0.079	0.024	0.066	0.168	1.333	H2-1 ✓	
T4	118.031 - 98.3594	L2x2x3/16	0.094	0.019	0.045	0.158	1.333	H2-1 ✓	
T5	98.3594 - 78.6875	L2x2x3/16	0.124	0.019	0.045	0.187	1.333	H2-1 ✓	

Continuación del anexo 2.

Section No.	Elevation ft	Size	Ratio	Ratio	Ratio	Comb. Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria
			$\frac{P_a}{F_a}$	$\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	$\frac{f_{by}}{F_{by}}$			
T6	78.6875 - 59.0156	L3x3x3/16	0.099	0.018	0.043	0.160 ✓	1.333	H2-1 ✓
T7	59.0156 - 39.3438	L3x3x3/16	0.118	0.023	0.059	0.199 ✓	1.333	H2-1 ✓
T8	39.3438 - 19.6719	L3x3x3/16	0.130	0.027	0.069	0.226 ✓	1.333	H2-1 ✓
T9	19.6719 - 0	L4x4x1/4	0.077	0.030	0.078	0.185 ✓	1.333	H2-1 ✓

Top Girt Design Data (Tension)

Section No.	Elevation ft	Size	L	L _u	Kl/r	F _a	A	Actual P	Allow. P _a	Ratio P
			ft	ft		ksi	in ²	lb	lb	$\frac{P_a}{P_a}$
T1	177.12 - 157.411	L1 1/2x1 1/2x3/16	5'6-15/32"	5'4-3/32"	140.3	21.600	0.5273	41.37	11390.60	0.004 ✓

Section Capacity Table

Section No.	Elevation ft	Component Type	Size	Critical Element	P lb	SF*P _{allow} lb	% Capacity	Pass Fail
T1	177.12 - 157.411	Leg	2"STD_PIPE	3	-2442.82	28323.18	32.5	Pass
		Diagonal	L1 1/2x1 1/2x1/8	16	-1285.24	4358.70	30.6	Pass
T2	157.411 - 137.703	Top Girt	L1 1/2x1 1/2x3/16	4	-71.49	3221.79	2.2	Pass
		Leg	2 1/2"STD_PIPE	39	-26514.70	47697.94	62.9	Pass
		Diagonal	L2x2x3/16	49	-1701.51	12169.48	19.6	Pass
T3	137.703 - 118.031	Leg	3"STD_PIPE	72	-38488.20	62062.61	67.8	Pass
		Diagonal	L2x2x3/16	82	-1276.95	8789.02	18.5	Pass
T4	118.031 - 98.3594	Leg	4"STD_PIPE	99	-47810.30	87698.20	57.8	Pass
		Diagonal	L2x2x3/16	101	-1665.28	4501.05	39.1	Pass
T5	98.3594 - 78.6875	Leg	4"STD_PIPE	120	-57942.30	87699.93	70.3	Pass
		Diagonal	L2x2x3/16	122	-1991.08	3267.89	63.5	Pass
T6	78.6875 - 59.0156	Leg	4"STD_PIPE	141	-68166.50	87698.07	83.4	Pass
		Diagonal	L3x3x3/16	143	-2381.64	8559.34	30.8	Pass
T7	59.0156 - 39.3438	Leg	5"STD_PIPE	162	-78002.80	111207.92	74.7	Pass
		Diagonal	L3x3x3/16	164	-2951.80	5687.88	55.6	Pass
T8	39.3438 - 19.6719	Leg	5"STD_PIPE	177	-88868.30	111208.72	84.4	Pass
		Diagonal	L3x3x3/16	179	-3283.60	4636.16	75.2	Pass
T9	19.6719 - 0	Leg	5"STD_PIPE	192	-99835.90	111209.92	92.7	Pass
		Diagonal	L4x4x1/4	194	-3875.31	12214.76	35.9	Pass
Summary								

Continuación del anexo 2.

<i>Section No.</i>	<i>Elevation ft</i>	<i>Component Type</i>	<i>Size</i>	<i>Critical Element</i>	<i>P lb</i>	<i>SF*P_{allow} lb</i>	<i>% Capacity</i>	<i>Pass Fail</i>
						Leg (T9)	92.7	Pass
						Diagonal (T8)	75.2	Pass
						Top Girt (T1)	2.2	Pass
						Bolt Checks	54.9	Pass
						RATING =	92.7	Pass

Fuente: Departamento de ingeniería grupo Industria Técnica Metálica S.A.