



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**Í Diseño de Torres para Telefonía Móvil Utilizando SoftwareÎ**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del Título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Presentada por:**

**Joseph Milton Mora Vera**

**GUAYAQUIL È ECUADOR**

**Año: 2010**



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo, en especial a mis padres y a mi esposa.



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

**Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE**

---

**Ing. Manuel Helguero G.  
DIRECTOR DE TESIS**

---

**Ing. Marcelo Espinosa L.  
VOCAL PRINCIPAL**

---

**Ing. Alfredo Torres G.  
VOCAL ALTERNO**



Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Joseph M. Mora V.

## RESUMEN

El proyecto de tesis trató sobre el diseño de torres para telefonía móvil usando el programa de cálculo estructural SAP2000®, pues actualmente en nuestro mundo globalizado cada día hay una creciente necesidad por estar comunicado lo más rápido posible, por lo tanto en respuesta a esta necesidad las compañías de telefonía móvil se encuentran en una carrera por brindar una cobertura cada vez mayor a sus usuarios y también el poder llegar primero a nuevos usuarios del servicio, y en nuestro país con los niveles de migración tan elevados, sobre todo en las partes más alejadas de nuestro territorio nacional, se convierte esta necesidad en un verdadero tesoro para éstas compañías.

El programa de cálculo estructural SAP2000® es una herramienta que acelera el proceso de diseño y por lo tanto la construcción de estas estructuras, brindando resultados con muchas combinaciones de circunstancias, a las que son sometidas las Torres al estar en servicio, como lo pueden ser las cargas sísmicas, las cargas dadas por el viento, el número de antenas que serán colocadas, incluso la carga por acumulación de hielo que se producen en lugares muy elevados como en las cercanías de los volcanes y hasta el número de personas que subirán a la torre para dar mantenimiento a las antenas.



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

El propósito de este estudio es el poder brindar un dimensionamiento apropiado, y a la vez confiable a toda la torre, para así evitar la utilización exagerada de materiales que al final sólo dan como resultado el desperdicio de los recursos y una elevación innecesaria de los costos de producción.

Actualmente el planeta entero es conciente de que los recursos se agotan muy rápidamente y que los costo para la obtención de materia prima cada vez son más elevados, en dinero, en energía, pero principalmente en la contaminación de nuestra atmósfera, dando como resultado catástrofes naturales que golpean con mayor intensidad cada vez que se presentan.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ABREVIATURAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLASõ .....x	x
INTRODUCCIÓNõ .....1	1
CAPÍTULO 1	
1. DESCRIPCIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIONESõ õ õ õ õ õ õ .....3	3
1.1 Tipos de Torres para Telecomunicacionesõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....3	3
1.1.1 Torres Autosoportadasõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....4	4
1.1.2 Torres Arriostradas o Atirantadasõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....8	8
1.1.3 Torres Tipo Monopoloõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....õ õ õ 11	õ õ õ 11
1.2 Parámetros de Diseño al Momento de Construir e Instalar una Torre Autosoportadaõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....12	12
1.2.1 Al Momento del Diseñosõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....12	12
1.2.2 Al Momento de la Construcciónõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....12	12
1.2.3 A la Terminaciónõ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ õ .....13	13
CAPÍTULO 2	
2. BASES TÉCNICAS PARA DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJEõ õ õ .....14	14



**PDF Complete**

*Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

- 2.1 Características generales para el diseño . . . 14
- 2.2 Normativa Aplicada en Ecuador . 17
- 2.3 Características Generales de la Estructura . 18
  - 2.3.1 Elementos y Accesorios . 18
  - 2.3.2 Sistema de Sujeción de Cables . 20
  - 2.3.3 Sistema de Protección de Puesta a Tierra . 23
  - 2.3.4 Balizamiento Nocturno . 24
  - 2.3.5 Plataformas de Descanso y Trabajo . 25
  - 2.3.6 Soportes para Antenas Radio Frecuencias y Microondas . 28
- 2.4 Cimentación . . . 32
  - 2.4.1 Tipología de Cimentación . 34
  - 2.4.2 Cimentación por Losa de Concreto Armado . 37
- 2.5 Recubrimientos . 40
  - 2.5.1 Galvanizado en Caliente . 40
  - 2.5.2 Sistema de Pintado . 42
- 2.6 Montaje de la Estructura . 43



## CAPÍTULO 3

### 3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA Y SU

CIMENTACIÓN .45

3.1 Definición del Programa SAP 2000® .45

3.2 Análisis de Cargas 50

3.2.1 Carga Muerta .51

3.2.2 Carga Viva .57

3.2.3 Combinaciones de Carga .59

3.3 Cálculo de Cimentaciones ...64

3.3.1 Cálculo y Dimensionamiento ...64

3.3.2 Revisión por Volteo .....65

3.3.3 Revisión de los Estados Límites del Suelo ....66

3.3.4 Diseño de la Cimentación ....67

## CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .69

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA



## ABREVIATURAS

ASTM: American Society for Testing Materials

ACI: American Concret Institute

ANSI: American National Standards Institute

AISC: American Institute of Steel Construction

C: Centígrados

DAC: Dirección de Aviación Civil

EIA-222-F: Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures

LRFD: Load and Resistance Factored Design

RF: Radio Frecuencia

Mm: Milímetros

Ø: Diámetro

Kgf: Kilogramos Fuerza

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
FIGURA 1.1 Torre Autosopotada Pata Celosía	5
FIGURA 1.2 Torre Autosoportada Pata Angulo	..6
FIGURA 1.3 Torre Autosoportada Pata Tubular	..7
FIGURA 1.4 Torre Pata Sólida	...8
FIGURA 1.5 Modelo de la Torre Arriostrada	..9
FIGURA 1.6 Torre Sobre Viga Metálica	10
FIGURA 1.7 Torre Tipo Monopolo	..11
FIGURA 1.8 Torre 60 Metros	13
FIGURA 2.1 Gama de Alturas De Las Torres	....15
FIGURA 2.2 Anillos De seguridad	..20
FIGURA 2.3 Guía Horizontal	...21
FIGURA 2.4 Guía Vertical	.22
FIGURA 2.5 Pararrayo	..24
FIGURA 2.6 Balizamiento Nocturno	..25
FIGURA 2.7 Plataforma Interior	..26
FIGURA 2.8 Plataforma Exterior	.27
FIGURA 2.9 Ménsula O Soporte	.29

FIGURA 2.10 Unión Tipo Sándwich 30

FIGURA 2.11 Mejoramiento del Suelo 36

FIGURA 2.12 Losa De Concreto Armado 37

FIGURA 2.13 Cimentación 38

FIGURA 2.14 Losa de Concreto Armado 38

FIGURA 2.15 Montaje De Torre 44

FIGURA 2.16 Colocación De Pata De Torre 44

FIGURA 3.1 Inicio Del Programa SAP2000 47

FIGURA 3.2 Importar Del Archivo La Torre 48

FIGURA 3.3 Se Llama Al Archivo Con Extensión Dwf 48

FIGURA 3.4 Aplicación De Los Ejes Coordinados 49

FIGURA 3.5 Sistemas De Coordinadas 50

FIGURA 3.6 Definición de Los Tipos De Cargas 51

FIGURA 3.7 Asignación De La Carga Pararrayo 52

FIGURA 3.8 Asignamos Las Cargas Pararrayos 53

FIGURA 3.9 Visualización Cargas Pararrayos 54

FIGURA 3.10 Cargas Que Semejen La Escalera 55

FIGURA 3.11 Representación Peso Antenas 1 56

FIGURA 3.12 Representación Peso De Antenas 2 56

FIGURA 3.13 Asignación De Carga Viva en Nodos 57

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

FIGURA 3.14	Asignación De La Carga Viva	58
FIGURA 3.15	Aplicamos Factor De 1.5	58
FIGURA 3.16	Asignación Combo 1	59
FIGURA 3.17	Asignación Combo2	60
FIGURA 3.18	Asignación De Combo 3	61
FIGURA 3.19	Análisis De Casos	62
FIGURA 3.20	Resultado Final Del Programa	63
FIGURA 3.21	Valor De Reacción En La Base	65



**PDF Complete**

*Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I	Propiedades Físicas Acero A-36	..32
TABLA II	Especificaciones De Unidades De Propiedades Del Material	...46

## ÍNDICE DE PLANOS

PLANO DE SECCIÓN	1
PLANO DE ELEMENTOS DE TORRE	2
PLANO TORRE DE 60 METROS	.3



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## INTRODUCCION

Una torre debe ser diseñada específicamente para cumplir con las normas existentes y con los requerimientos del cliente.

El punto de partida para la ingeniería de la Torre son las especificaciones del cliente con relación a la cantidad, tipo y posición de las antenas y/o parábolas, así como la necesidad o no de plataformas y escaleras. Es también necesario el conocimiento de la ubicación geográfica de la Torre para determinar las cargas de viento, que pueden ser también especificadas por el cliente. Otro factor sumamente importante es la forma y área del terreno disponible y su topografía, así como las características del suelo en cuanto a resistencia y ubicación del nivel freático principalmente.

El proyecto de una Torre por lo tanto consiste en el cálculo estructural de la Torre requerida, en función de las características específicas de carga. Dicho cálculo es realizado en computadoras mediante programas. La estructura en cuestión es calculada considerando un número suficiente de casos de cargas que puedan presentarse y diseñándola para la combinación más desfavorable.



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Este proyecto es entregado al cliente con una memoria técnica y los planos correspondientes.

En el presente trabajo se realizarán los cálculos por medio de programa estructural SAP 2000, según las necesidades y normas que aplican a nuestro país, logrando así minimizar el tiempo del Diseño y Construcción.



# CAPÍTULO I

## 1. DESCRIPCIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES

### 1.1 Tipos de Torres para Telecomunicaciones

Estas estructuras pueden variar según las necesidades y las condiciones del sitio en donde se vaya a colocar.

Así, existen desde Torres Arriostradas (torres con tirantes), Torres Auto soportadas, monopolos, mástiles, entre otras, las cuales suelen estar compuestos por perfiles y ángulos de acero unidos por tornillos, pernos o remaches o por medio de soldadura. Estas estructuras podrán ser de diversas alturas, dependiendo de los requerimientos para poder suministrar un correcto funcionamiento. También la geometría de una

estructura, como una torre autosoportada por ejemplo, puede variar según el fabricante de la torre.

Existen actualmente muchas compañías que se dedican a fabricar estas estructuras y muchas de ellas tienen sus modelos optimizados, en donde los perfiles y ángulos varían de tamaño y espesor dependiendo de la altura de la estructura, y del lugar en donde se va a construir, afectando principalmente la velocidad del viento que exista en el lugar en cuestión

### **1.1.1 TORRES AUTOSOPORTADAS**

Estas torres se construyen sobre terrenos, en áreas urbanas o cerros, y deberán de contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que están sometidas. La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y del fabricante de la torre.

#### **Torres Auto-Soportadas - Tipo pata Celosía**

Idealmente apropiada para los grandes requisitos y para las cargas de hasta 10 portadores o carriers.



FIGURA 1.1 TORRE AUTOSOPORTADA PATA CELOSÍA

1. La torre se fabrica con todos los miembros sólidos que proporcionan la mayor resistencia y protección a la oxidación. Todas las superficies y componentes son totalmente visibles para su fácil inspección.
2. Cada pata consiste en 3 barras redondas sólidas soldadas juntas. Las barras redondas varían en diámetro a partir de la 92m.m. a 30m.m dependiendo de altura de la torre en carga.
3. Cada pata proporciona el cumplimiento acorde a EIA/TIA y CSA para los accesorios de subida.

4. El apoyo de la torre utiliza ángulos de 200 m.m. por 200 m.m. por 15 m.m. dependiendo de altura de la torre en carga.

### **Torres Auto-Soportadas Æ Pata Ángulo**

Estas torres son idealmente apropiadas para requerimientos de uno a 4 carriers o portadoras. Son el estándar de la industria en Canadá y son perfectamente ideales para las estructuras internacionales.



FIGURA 1.2 TORRE AUTOSOPORTADAS PATA ANGULO

Los materiales se conforman con la Sociedad Americana siguiente para los estándares de la Prueba y Materiales (ASTM)

### **Torres Auto-Soportadas Æ Pata de Tubo**

- Forma estructural a prueba de las condiciones climáticas
- Resistencia inherente



FIGURA 1.3 TORRE AUTOSOPORTADA PATA TUBULAR

### **Torres Auto-Soportadas Pata Alrededor Sólida**

- Forma estructural a prueba de las condiciones climáticas
- Mayor cantidad de antenas celulares



FIGURA 1.4 TORRE PATA SÓLIDA

### 1.1.2 Torres Arriostradas o Atirantadas

Muchas veces se requieren instalar antenas celulares en puntos específicos o regiones, por lo que se recurre a construir torres arriostradas sobre edificaciones existentes. Estas torres cuentan generalmente de tirantes o arriostres a diferentes distancias. El peso que genera la torre sobre la estructura existente no es muy grande, por lo que no le adiciona mucho peso a la edificación, sin embargo, se deben de colocar el apoyo de las torre y sus arriostres sobre columnas y elementos resistentes, porque la descarga de la torre no podría colocarse sobre una losa o algún

otro elemento inadecuado, porque este podría fallar. La base de la torre transmitirá un esfuerzo de compresión en donde este apoyada, y los arriostres generalmente transmitirán esfuerzos de tensión.

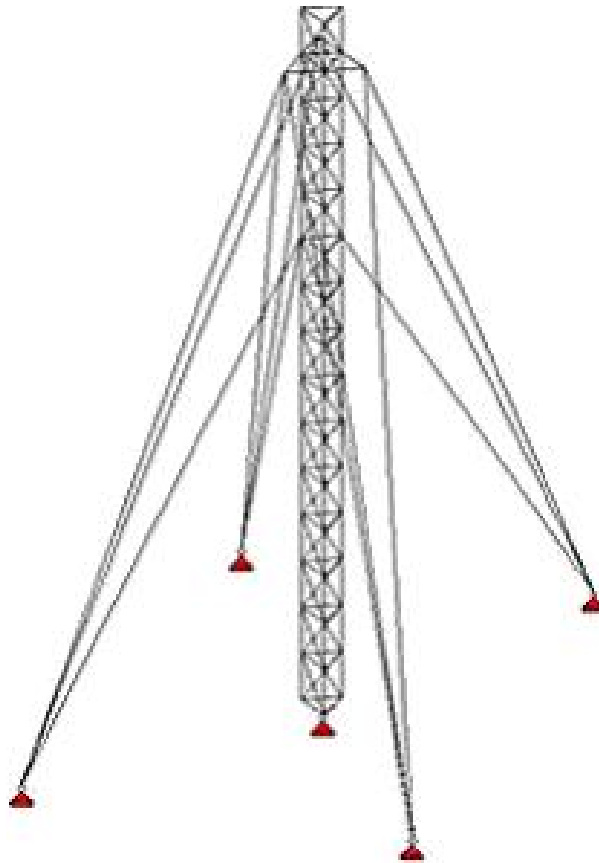


FIGURA1.5 MODELO DE LA TORRE ARRIOSTRADA

Los cables o arriostres generalmente se tensan al 10% de su Resistencia, la cual es proporcionada por el fabricante. Así, por ejemplo,

si el cable tiene una resistencia a la ruptura de 4.95 Ton en tensión, entonces se acostumbra tensar los cables a 0.495 Ton. También se pueden tensar los cables con diferentes fuerzas, calculando una tensión tal que el sistema este en equilibrio

Cuando al centro de la edificación no se encuentre una columna para poder apoyar la base de la torre, se puede recurrir a la colocación de alguna viga de acero o alguna estructura para que la torre se apoye. Esta estructura podrá ya apoyarse sobre otras columnas de la edificación.

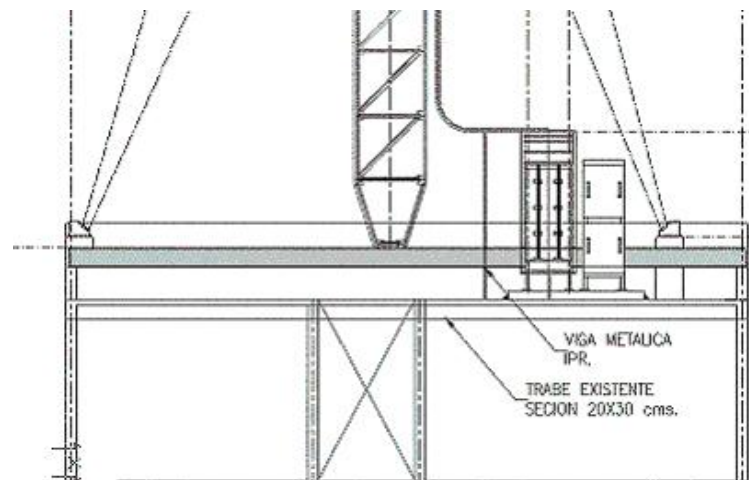


FIGURA 1.6 TORRE SOBRE VIGA METÁLICA



### 1.1.3 Torres Tipo Monopolo

Estas estructuras son instaladas en lugares en donde se requiere conservar la Estética, pues son las que ocupan menos espacio, y se pintan de algún color o se adornan para que se permita que la estructura se camufle y se simule la vegetación. Como estas estructuras están sobre terrenos, se deberá de construir una cimentación adecuada para resistir los efectos de la misma.



FIGURA 1.7 TORRE TIPO MONOPOLO

## **1.2 Parámetros de Diseño al Momento de Construir e Instalar una Torre Autosoportada**

### **1.2.1 Al momento del Diseño**

Todas las torres se diseñan de acuerdo con los últimos estándares Norteamericanos (EIA, UBE, CSA), Europeos (Eurocode, Británicos, franceses, rumanos) e Internacionales. Éstos incluyen la edición más reciente del estándar 222 de la asociación de la industria de electrónica (EIA) y la asociación Canadiense de los estándares (CSA), la Sociedad Americana de la Soldadura (AWS), el Instituto Concreto Americano (ACI) e Instituto Americano de los Estándares de Acero de la Construcción (AISC).

Los materiales se conforman con la Sociedad Americana siguiente para los estándares de la Prueba y de los Materiales (ASTM).

### **1.2.2 Al momento de la Construcción**

La construcción y diseño satisfacen ampliamente los requerimientos de las normas aplicadas en cada país.

### 1.2.3 A la Terminación

Una vez concluida la fabricación se galvaniza toda la estructura y sus accesorios en zinc caliente con un espesor mínimo de 70 micrones, y de acuerdo a las Normas de la Dirección de Aviación Civil se entrega pintada con los colores reglamentarios.



FIGURA 1.8 TORRE 60 METROS

## CAPITULO 2

### 2. BASES TÉCNICAS PARA DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

#### 2.1 Características generales para el diseño

Se diseñarán tres modelos de torres SDH, cada modelo para alturas de 60 metros, con la versatilidad de ser modulares a 54 y 48 metros (ver figura 2.1), -al ir sustrayendo los tramos inferiores-; sin que esto reduzca las capacidades de carga de la estructura. Cada altura de torre será capaz de cumplir para los mismos criterios de diseño y condiciones de carga. En función de la velocidad de viento regional considerada para el diseño de las torres, los modelos se denominarán:

Normal (N): 140 Km/hr

Expuesta (EX): 160 Km/hr

Muy Expuesta (ME): 190 Km/hr

La designación completa de este tipo de estructuras será:

M3-SDH / CEL-EX (HH)

Donde:

M3: Indica que se trata de una estructura de tres montantes (sección triangular).

SDH: Define la capacidad de carga de antenas para la cual se diseña la estructura (9 antenas celulares de 160N. c/u en la plataforma de trabajo, 6 antenas sólidas de 500N c/u y 4 antenas de 6000N c/u)

CEL: Indica que la torre se fabrica en celosía (Tejido tipo X).

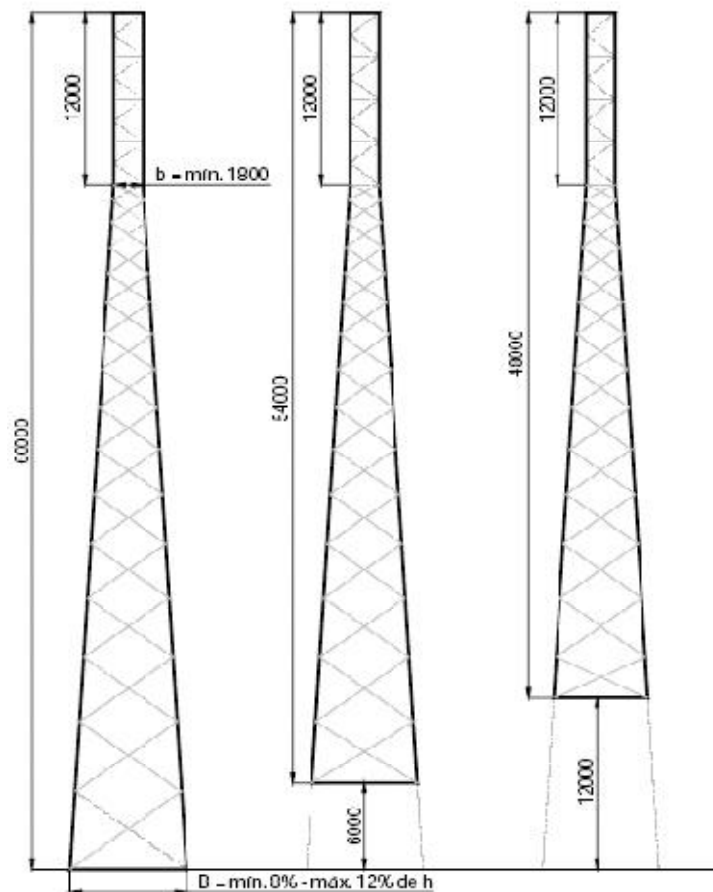


FIGURA 2.1 GAMA DE ALTURAS DE LAS TORRES

EX: Se refiere al modelo de torre que corresponda, %N+ normal, %EX+ expuesta y %ME+muy expuesta.

(HH): Señala la altura de la estructura en metros.

La geometría de la torre será justificada según el cálculo, con las siguientes limitaciones:

La separación entre montantes será mínimo el 8% de la altura de la torre y máximo el 12%.

La configuración de la torre será piramidal, considerando un tramo recto en los últimos 12m de la altura de la estructura.

Los 12m de tramo recto tendrán una separación mínima entre montantes de 1,8 m

Se dimensionarán placas base, montantes, cartabones, celosía (diagonal, horizontal, diafragmas, etc.) placas de conexión, pernos de anclaje y soldaduras

La elección del tipo de cimentación se determinará según resultados del Estudio de Mecánica de Suelos y su diseño deberá cumplir con las normativas locales vigentes del país donde se construya.

## 2.2 Normativa Aplicada en Ecuador

El diseño, fabricación e instalación de las estructuras soporte de antenas en celosía tipo M3, así como el diseño de su cimentación, deberán cumplir con todas y cada una de las normativas vigentes en cada país.

### Normativa Ecuador

- “ Código Ecuatoriano de la Construcción. Basado en las especificaciones AISC-LRFD
- “ ANSI/TIA/EIA-222-F Structural Standard for Antenna Towers and Antenna Supporting Structures
- “ AISC - American Institute of Steel Construction . Reglamento para la construcción en acero, octava edición.
- “ ACI - American Concrete Institute . Reglamento para la construcción en concreto

## **2.3 Características Generales de la Estructura**

Las torres SDH que se especifican en este documento son estructuras autosoportadas metálicas de sección triangular, construidas con perfiles angulares ó placas roladas (plegadas) y, se montan mediante la unión tramos, por medio de placas atornilladas (cubrejuntas), destinadas al soporte de antenas de Telefonía Móvil. Se pretenden torres limpias en sus tres costados, por lo que todas las estructuras SDH estarán preparadas para instalar por su interior -y en trayectoria vertical- el sistema de acceso y la cama guía ondas.

### **2.3.1 Elementos y Accesorios**

Se definen en este apartado los accesorios a instalar sobre la torre. El sistema de acceso es el medio que permite la inspección y el control de las antenas y de la propia torre.

El sistema de acceso será mediante escalera que se extiende por la torre dispuesta en posición vertical en toda su longitud. La fijación a la estructura se realiza a cada 5m, máximo. La escalera está formada por ángulos verticales (largueros) de LI 51 x 6mm,



unidos por peldaños formados por redondos sólidos (OS) de 19 mm, soldados a los ángulos verticales, y separados 250 mm entre sí. El ancho de la escalera será de 400 mm. (a paños exteriores).

Los peldaños de ascenso deben ser de textura antiderrapante, ya sea por medio de arenas silíceas en la pintura ó usando varillas corrugadas. Como medida de seguridad, para evitar la caída de personas durante las operaciones de ascenso y descenso, se instalará un sistema de protección anticaídas homologado por cada país, por lo que será necesario dejar las preparaciones pertinentes para la instalación de cualquiera de estos sistemas.

Cuando así se requiera se instalarán aros guarda hombre como se muestra en la figura 2.2, por lo cual, se deben considerar las preparaciones necesarias para su fijación a la escalera de acceso, la separación máxima entre aro y aro será de 1200mm.



FIGURA 2.2 ANILLOS DE SEGURIDAD

En los niveles de acceso a plataformas se prescindirá de la instalación de los aros cuando estos obstruyan el libre paso del usuario. El proveedor del sistema de protección anticaídas entregará por cada sistema instalado un certificado original de garantía, con el número de referencia del equipo y la fecha de instalación, que se incluirá en el proyecto específico.

### **2.3.2 Sistema de Sujeción de Cables**

Los guíaondas o coaxiales son cables de radiofrecuencia (RF), relativamente rígidos y con ciertas limitaciones a las curvaturas, no inferiores a 500 mm, que unen las antenas con los equipos de

radio situados en el interior de las casetas destinadas a sitios celulares ó a equipos, de intemperie. Su trayectoria se extiende por el interior de la torre, como guíaondas vertical y por el espacio comprendido entre torre y caseta ó equipo de intemperie, como guíaondas horizontal como se muestra en la figura 2.3.



FIGURA 2.3 GUÍA HORIZONTAL

La trayectoria vertical se diseña para fijar los cables en un perfil de 51 x 5mm, de 1400 mm de longitud, dispuesto horizontalmente y paralelo a la escalera de ascenso como se muestra en la figura 2.4.



FIGURA 2.4 GUÍA VERTICAL

Estos perfiles se instalan en toda la vertical separados cada 1.4 metros. La trayectoria horizontal se diseña para que se puedan fijar los cables guíaondas a un perfil transversal L 51 x 5mm, soportados sobre dos perfiles (largueros) L 76 x 9mm. En la parte superior y para proteger los coaxiales de cualquier impacto, se utilizará una lámina galvanizada de calibre 14 (1.89 mm) de espesor. La tapa protectora deberá diseñarse para permitir el paso de los cables.

Los tramos de la ~~es~~ escalerilla tendrán una longitud de 6000 y 3000 milímetros y un ancho de 600mm, ó 1000mm según los requerimientos de cada país. Se diseñarán también tramos curvos para cambios de trayectoria a 90° y 45°. La cama guíaondas

horizontal podrá instalarse directamente a la torre por medio de un sistema de atirantado, para el cuál se diseñaran los accesorios necesarios. Para el caso de sujetar la %escalera+ mediante postes de acero, estos se diseñarán telescópicos y los perfiles largueros de la %escalera+ podrán aligerarse. La cama guíaondas se instalará de forma tal, que la pendiente quede hacia la estructura evitando que los escurrimientos de agua, en caso de lluvia, afecten la caseta o equipos de intemperie.

### **2.3.3 Sistema de Protección de Puesta a Tierra**

El aterrizaje de la estructura, de las antenas y del pararrayos se realiza según las especificaciones de sistema de tierras vigente en cada país. El soporte del pararrayos se resuelve con un tubo OC de 50mm cedula 40, tendrá una longitud de 6000 mm, y se diseña de manera tal que permita el deslizamiento para facilitar los trabajos de mantenimiento, como se muestra en la figura 2.5



FIGURA 2.5 PARARRAYO

### 2.3.4 Balizamiento Nocturno

El sistema de balizamiento nocturno se instalará siguiendo normativas de la Dirección General de Aviación Civil ó el organismo regente en cada país.

Se proveerán como accesorios los soportes metálicos necesarios para instalar a la estructura los diferentes tipos de luminarias dictaminadas por la DAC ó el organismo oficial regulatorio en cada país. Debe considerarse también el soporte para la fotocelda como se muestra en la figura 2.6



FIGURA 2.6 BALIZAMIENTO NOCTURNO

### 2.3.5 Plataformas de Descanso y Trabajo

Constituyen la zona de la torre destinada a la instalación, supervisión y mantenimiento de las antenas y de la propia torre, o al descanso de los trabajadores durante la realización de las tareas anteriores o durante su ascenso por dicha torre. Su construcción se efectúa mediante rejilla tipo Irving para evitar el deslizamiento del calzado, al mismo tiempo que permite el paso de agua evitando estancamientos y acumulaciones sobre la misma.

#### **Plataformas de descanso interiores**

En la torre de 60m, se dispondrá de 3 plataformas de descanso interiores, la primera a 15m de altura aproximadamente, la segunda a 30m aproximadamente, y la tercera a 45m

aproximadamente. La superficie se diseña con suficiente dimensión para permitir la estancia de una persona, además a 0.85 metros de altura de cada plataforma, se dispondrá de un barandal de protección.

### **Plataformas de trabajo interiores**

La zona de instalación de antenas, -tramos rectos de la torre- se dotará de dos plataformas de trabajo. Su construcción es similar a la de descanso. Los tramos rectos disponen de celosía horizontal a cada dos metros y, estas barras, se dejarán preparadas, para recibir plataforma de trabajo en los niveles que así convenga, como se muestra en la figura 2.7



FIGURA 2.7 PLATAFORMA INTERIOR



## Plataforma de trabajo exterior

Se diseñaran 2 tipos de plataformas de trabajo exteriores de sección triangular, una con longitud de caras de 3m y otra para 4m. Dispondrán de sectores andadores para el paso hombre que permitan a la vez trabajos de instalación y mantenimiento de equipos. Servirán de soporte de antenas de RF: La plataforma de 3m, permitirá instalar hasta 3 antenas por sector, separadas equidistantemente en toda la longitud del sector. La plataforma de 4m, permitirá instalar hasta 5 antenas por sector separadas equidistantemente en toda la longitud del sector como se muestra en la figura 2.8. Todas las plataformas se diseñan para soportar una carga de  $250\text{kg/m}^2$

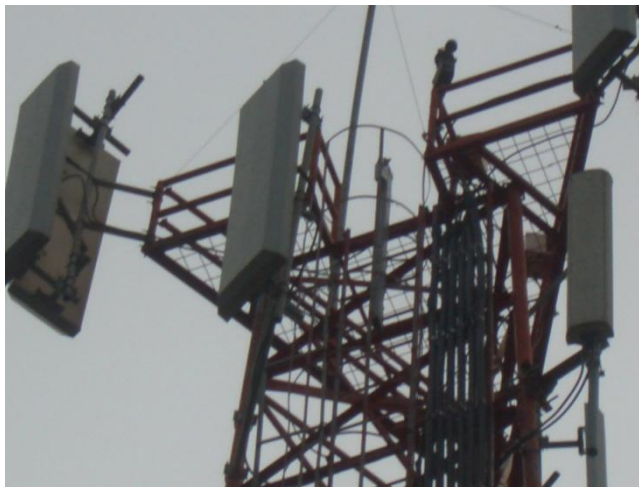


FIGURA 2.8 PLATAFORMA EXTERIOR

### 2.3.6 Soportes para Antenas Radio Frecuencias y Microondas

Los soportes de antenas son los elementos necesarios para la instalación de los sistemas radiantes sobre la torre de la forma más adecuada para que, en cada caso particular se consigan los objetivos de cobertura. Para sujetar las antenas en los soportes, se utilizarán tubos de amarre de diámetro variable según se trate de antenas de RF ó microondas que irán fijados mediante abrazaderas roscadas en su totalidad. Para sujetar las antenas RF en los soportes se utilizan tubos de amarre  $\varnothing C+ de =50$  m.m. cédula 40 ( $=60.3 \times 3.91$  mm) de 1800 y 2400 milímetros de longitud, según el modelo de antena a instalar y, para sujetar las microondas tubos de amarre  $\varnothing C+ de =100$ mm cédula 40 ( $=114 \times 6.02$  mm) de 1200 milímetros para antenas de hasta 1220mm. Para antenas de diámetros superiores la longitud del tubo será de 1800mm. Los soportes a diseñar para esta estructura son los siguientes:

- Ménsula fija para antena de RF
- Soporte delta para antenas de RF
- Ménsula fija para antena de microonda de 610 a 1220mm

- Ménsula fija para antena de microonda de 1830 a 2440mm
- Soporte universal para antena de microonda de 1830 a 2440mm

### **Ménsula Fija Para Antena**

Las ménsulas fijas para antenas de RF se diseñan para los tramos rectos y piramidales de la estructura, en ambos casos el tubo de amarre se instala en posición vertical. Consiste en una estructura de acero galvanizado que sirve para soportar antenas tipo panel, cuyo sistema radiante no está condicionado a separarse de la estructura como se muestra en la figura 2.9.



FIGURA 2.9 MÉNSULA O SOPORTE

La sujeción a la torre se efectúa a través de dos ménsulas, sujetas por herrajes mediante unión tipo sánduche a una pierna o montante vertical, y separadas entre sí una distancia de 1 metro como se muestra en la figura 2.10.



FIGURA 2.10 UNIÓN TIPO SÁNDUCHE

En sus extremos se sujeta el tubo amarre de antena, que estará separado respecto del montante vertical 300mm para facilitar las tareas de instalación de antenas, pudiendo ser esta longitud mayor en función de las dimensiones de la antena.

En este soporte el tubo amarre se considera incluido dentro del propio soporte. Los herrajes de sujeción del soporte deberán diseñarse para poder instalarles a cualquier nivel de la torre, lo cuál implica adaptarlos a los diferentes perfiles de las piernas.

Se montará una plataforma de trabajo interior de forma que se acceda con facilidad a la instalación y mantenimiento de las antenas.

### **Aceros Estructurales**

Las placas estructurales y perfiles utilizados, se ajustarán en cuanto a su composición química, condición de suministro, recepción, dureza y tolerancias conforme a la normativa A.S.T.M. para estructuras metálicas.

Los materiales empleados en la construcción e instalación de las estructuras soporte de antenas presentarán las siguientes características:

El acero estructural utilizado puede ser de dos tipos que corresponden a las siguientes características mecánicas:

**TABLA I.- PROPIEDADES FÍSICAS ACERO A-36**

<b>A-36(36,000 lb/pulg<sup>2</sup>)</b>	<b>ST</b>	<b>SI</b>
Límite elástico a tensión (F <sub>TY</sub> )	2,530 kg/cm <sup>2</sup>	248 MPa
Límite elástico a compresión (F <sub>CY</sub> )	2,530 kg/cm <sup>2</sup>	248 MPa
Módulo elástico a tensión (E <sub>T</sub> )	2,1x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	200,000 MPa
Módulo elástico a compresión (E <sub>C</sub> )	2,1x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	200,000 MPa
Coefficiente de Poisson ( )	0.3	0.3
Densidad (peso específico)	7,800x10 <sup>-6</sup> kg/cm <sup>3</sup>	76,518 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad transversal G = E/2(1+ )	0.787x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	77,204 MPa

## 2.4 CIMENTACIÓN

Los materiales componentes del concreto deberán cumplir en todo momento con lo establecido las normativas para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, del país donde se construya.

La dosificación elegida para la preparación de las mezclas destinadas a la construcción de las cimentaciones de las torres se estudiará para que sea capaz de proporcionar concretos cuyas características mecánicas, estructurales y de durabilidad satisfagan sobradamente las condiciones indicadas en este pliego. Estos estudios se realizarán teniendo en cuenta, en todo lo posible las condiciones reales de obra.

Las características mecánicas de los concretos empleados en la cimentación deben cumplir con la resistencia de proyecto solicitada.

La resistencia de proyecto  $f'c$ , no será inferior a  $200 \text{ kg/cm}^2$  para el concreto en masa de la cimentación. Para los casos especiales de cimentación a base de losas rígidas o zapatas aisladas, los concretos a utilizar serán armados con un valor mínimo de  $f\phi = 250 \text{ kg/cm}^2$ , excepto los concretos para plantillas que será  $f\phi = 100 \text{ kg/cm}^2$ .

Las dimensiones máximas y mínimas del agregado y de los finos deberán cumplir con lo especificado en las normativas que apliquen en el país donde se construya la cimentación.

Por otra parte, el recubrimiento libre entre el plano exterior del acero de refuerzo y el límite del elemento no será menor de 50 mm. La parte de relleno que se debe colocar será a base de tepetate compactado.

En cuanto al control de calidad, factores de proporcionalidad para los ensayos de probetas, así como para la manejabilidad y trabajabilidad del concreto, se cumplirá con lo establecido en las normativas de aplicación de cada país y, será responsabilidad de la empresa suministradora de la estructura, comprobar a través de ensayos de laboratorio (cilindros de concreto ó extracción de corazones), que la resistencia del concreto sea la misma que se especifica en el diseño de cimentación.

El refuerzo del concreto, para el caso de tratarse de una cimentación a base de losa maciza o zapatas aisladas, pilotes, pilas etc. se realizará a base de barras de acero de corrugado grado 42, de acuerdo a los cálculos de proyecto.

Se define la cimentación por losa de concreto armado. Sin embargo, cada país podrá definir la tipología de cimentación que mejor convenga.

#### **2.4.1 Tipología de Cimentación**

Las estructuras muy esbeltas y de gran altura como es el caso de las torres, están sometidas a fuertes empujes horizontales de viento y en muchos casos resisten acciones sísmicas. Los momentos de vuelco transmitidos a la base dan lugar a fuertes tensiones de borde, unas de tracción y otras de compresión que, en terrenos deformables pueden producir giros o inclinaciones irreversibles.

Se definirá la cimentación para que el terreno sea capaz de absorber estas cargas, bien aumentando la superficie de apoyo,



bien contando con la colaboración del terreno en los laterales y en la base mediante una cimentación profunda. Además, la cimentación constituye una condición de borde de la superestructura y no siempre puede suponerse un empotramiento perfecto entre ambas.

La rigidez de la cimentación y sus posibilidades de giro o movimiento influyen sobre la distribución de esfuerzos en la torre y sobre las deformaciones que pueda sufrir el terreno en la zona de influencia de la cimentación causadas por la compresión del macizo sobre el mismo.

Para terrenos con un grado de sismicidad importante, estos movimientos se transmitirán a la estructura afectando a su comportamiento dinámico. Se trata por tanto de prever la forma en que las vibraciones del sustrato se transmiten a la estructura a través de su cimentación.



FIGURA 2.11 MEJORAMIENTO DEL SUELO

En general, las cimentaciones muy rígidas hacen que toda la estructura se mueva en la misma fase, con lo que movimientos diferenciales o efectos dinámicos inesperados quedan muy atenuados.

Se hace necesario rigidizar convenientemente la unión de la placa base y la cimentación (figura 2.11) para que el conjunto trabaje de manera solidaria. Se dimensionará los elementos de unión (anclas) que quedan empotrados en el concreto, para evitar desgarres por falta de adherencia.

## 2.4.2 Cimentación por Losa de Concreto Armado

Con este tipo de cimentación, figura 2.12; 2.13; 2.14 se reducen las tensiones de apoyo recurriendo a una zapata o losa de concreto armado de mayores dimensiones en planta ampliando así la superficie de contacto con el terreno. Su peso sirve también para centrar la resultante de cargas.



FIGURA 2.12 LOSA DE CONCRETO ARMADO



FIGURA 2.13 CIMENTACIÓN

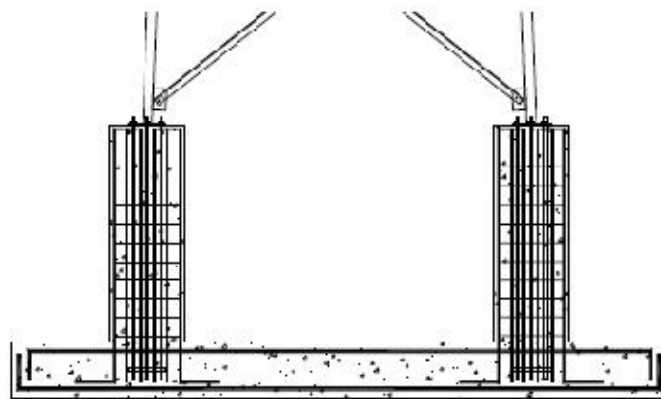


FIGURA 2.14 LOSA DE CONCRETO ARMADO

Existen diversos tipos de terrenos que presentan una problemática especial en los que habrá que realizar estudios detallados y requerirán rediseño de la cimentación

Suelos con materia orgánica: en zonas pantanosas, lacustres, marismas, estuarios. Se pueden producir asientos importantes. Se

emplearán soluciones especiales de cimentación cuando el contenido en materia orgánica supera el 20%.

Suelos colapsables: como los limos yesíferos, sufren asentamientos importantes es decir colapsan por humedecimiento (lluvia) al estar bajo carga.

Suelos expansivos: materiales arcillosos preconsolidados con apreciables cambios de volumen por variaciones de humedad.

Terrenos Karsticos: formaciones calizas con problemas de disolución, es decir sales disueltas en el agua pueden volverse a solidificar. Se pueden producir hundimientos bruscos.

Rellenos: de elevada compresibilidad, generalmente muy errática. La solución más aconsejable es atravesarlos con pozos o pilotes.

Laderas inestables: Exigen una fijación previa a cualquier obra de cimentación.

Terrenos agresivos al hormigón: con un porcentaje apreciable de sales o elementos nocivos para el concreto como sulfatos y magnesio. Se emplearán cementos especiales.

## 2.5 Recubrimientos

Los recubrimientos que se efectuarán a toda la estructura metálica y los accesorios serán

### 2.5.1 Galvanizado en Caliente

Todos los elementos que configuran el mástil estarán galvanizados en caliente según la norma A.S.T.M. A-123.

La galvanización en caliente es el procedimiento de un recubrimiento de zinc y/o de aleaciones de zinc-hierro sobre los productos de hierro y acero, mediante inmersión de los mismos en zinc fundido.

El espesor del recubrimiento galvanizado para el acero estructural será:

Para perfiles con espesor Acero  $\geq$  6 mm: recubrimiento medio 85  $\mu$ m (equivalente a 600 gr / m<sup>2</sup>) y espesor local de 70  $\mu$ m.

Para perfiles con espesor Acero  $\geq 3$  mm hasta  $< 6$ mm:  
recubrimiento medio 70  $\mu$ m y espesor local de 55  $\mu$ m.

El espesor del recubrimiento sobre los elementos roscados  
centrifugados será:

Para roscas con diámetro  $d \geq 20$  mm: recubrimiento medio 55  $\mu$ m  
y espesor local de 45  $\mu$ m.

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

Para roscas con diámetro  $d < 6$  mm: recubrimiento medio 25  $\mu$ m y  
espesor local de 20  $\mu$ m.

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 el baño.

No se admitirán 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, o por cualquier otra circunstancia que no esté debidamente documentada y justificada. Antes de efectuarse la galvanización el suministrador comprobará que la calidad, tamaño, orificios de ventilación y drenaje, acabado superficial, etc., son los correctos para que los espesores del recubrimiento de galvanizado sean los requeridos. En el caso de pequeñas piezas, como los tornillos, tuercas, arandelas, etc., la galvanización deberá centrifugarse debido a su pequeño tamaño. Bajo ningún concepto se efectuarán soldaduras después del proceso de galvanizado.

### **2.5.2 Sistema de Pintado**

El sistema de pintado cumplirá con la especificación actualizada de pintado de estructuras metálicas del país donde se instale la



estructura. La torre y todos sus accesorios, podrán pintarse una vez instalados y montados en sitio ó desde fábrica, según los requerimientos de cada país. El sistema de pintado en la estructura se utilizará por tres motivos: por motivos de minimizar el impacto visual, por señalización y camuflaje, y para aumentar su duración. En nuestro país por disposición de la DAC, se pinta las torres de colores Blanco y Naranja intercalados, empezando en naranja y terminando en naranja

## 2.6 Montaje de la Estructura

Los elementos que componen la estructura estarán de acuerdo con las dimensiones, detalles y prescripciones indicadas en los planos. Las manipulaciones necesarias para la carga, descarga, transporte y almacenamiento, así como el montaje se realizarán con el cuidado suficiente para no provocar solicitaciones excesivas en ninguno de los elementos constructivos. El montaje de la estructura se efectuará con el equipo humano y material de montaje adecuado (figura 2.15). El armado de los diferentes tramos se efectuará in situ, verificando que todos los elementos se montan en su posición correcta, fundamentalmente, montantes y diagonales.



FIGURA 2.15 MONTAJE DE TORRE

Asimismo, se verificará que los diferentes elementos de unión, tornillos, arandelas, forros sean los apropiados. Se verificará que la unión entre tramos se efectúe con junta interior y cubrejuntas exteriores. Previo a la colocación del tramo de arranque (ver figura 2.16), se colocarán las calzas o alzados necesarios para lograr el espacio que hay que respetar entre la parte inferior de la estructura y el fondo de la excavación.



FIGURA 2.16 COLOCACIÓN DE PATA DE TORRE

# CAPITULO 2

## 2. BASES TÉCNICAS PARA DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

### 2.1 Características generales para el diseño

Se diseñarán tres modelos de torres SDH, cada modelo para alturas de 60 metros, con la versatilidad de ser modulares a 54 y 48 metros (ver figura 2.1), -al ir sustrayendo los tramos inferiores-; sin que esto reduzca las capacidades de carga de la estructura. Cada altura de torre será capaz de cumplir para los mismos criterios de diseño y condiciones de carga. En función de la velocidad de viento regional considerada para el diseño de las torres, los modelos se denominarán:

Normal (N): 140 Km/hr

Expuesta (EX): 160 Km/hr

Muy Expuesta (ME): 190 Km/hr

La designación completa de este tipo de estructuras será:

M3-SDH / CEL-EX (HH)

Donde:

M3: Indica que se trata de una estructura de tres montantes (sección triangular).

SDH: Define la capacidad de carga de antenas para la cual se diseña la estructura (9 antenas celulares de 160N. c/u en la plataforma de trabajo, 6 antenas sólidas de 500N c/u y 4 antenas de 6000N c/u)

CEL: Indica que la torre se fabrica en celosía (Tejido tipo X).

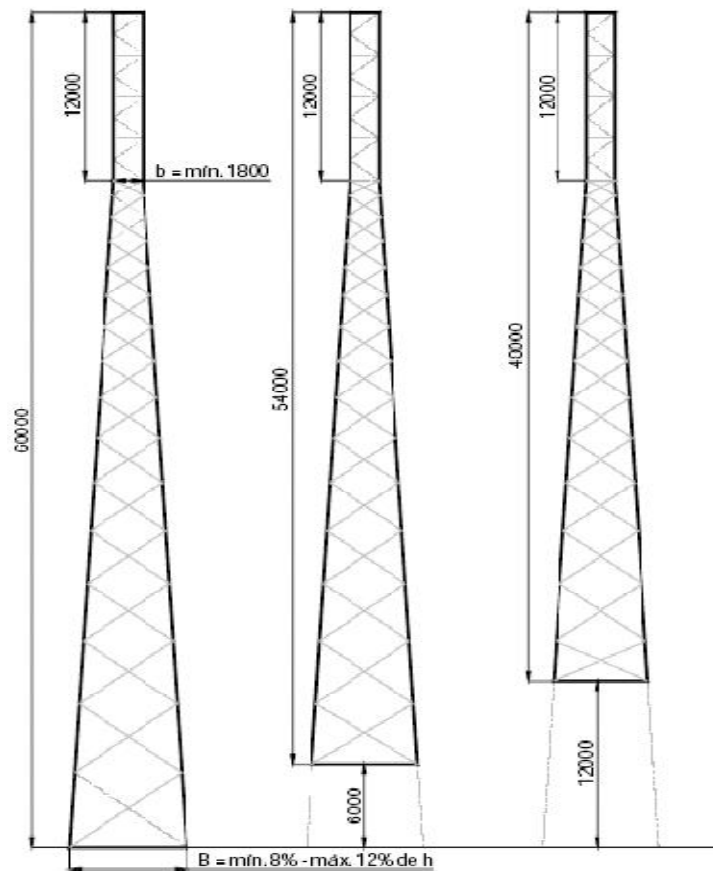


FIGURA 2.1 GAMA DE ALTURAS DE LAS TORRES

EX: Se refiere al modelo de torre que corresponda, %N+ normal, %EX+ expuesta y %ME+muy expuesta.

(HH): Señala la altura de la estructura en metros.

La geometría de la torre será justificada según el cálculo, con las siguientes limitaciones:

La separación entre montantes será mínimo el 8% de la altura de la torre y máximo el 12%.

La configuración de la torre será piramidal, considerando un tramo recto en los últimos 12m de la altura de la estructura.

Los 12m de tramo recto tendrán una separación mínima entre montantes de 1,8 m

Se dimensionarán placas base, montantes, cartabones, celosía (diagonal, horizontal, diafragmas, etc.) placas de conexión, pernos de anclaje y soldaduras

La elección del tipo de cimentación se determinará según resultados del Estudio de Mecánica de Suelos y su diseño deberá cumplir con las normativas locales vigentes del país donde se construya.

## 2.2 Normativa Aplicada en Ecuador

El diseño, fabricación e instalación de las estructuras soporte de antenas en celosía tipo M3, así como el diseño de su cimentación, deberán cumplir con todas y cada una de las normativas vigentes en cada país.

### Normativa Ecuador

- “ Código Ecuatoriano de la Construcción. Basado en las especificaciones AISC-LRFD
- “ ANSI/TIA/EIA-222-F Structural Standard for Antenna Towers and Antenna Supporting Structures
- “ AISC - American Institute of Steel Construction . Reglamento para la construcción en acero, octava edición.
- “ ACI - American Concrete Institute . Reglamento para la construcción en concreto

## **2.3 Características Generales de la Estructura**

Las torres SDH que se especifican en este documento son estructuras autosoportadas metálicas de sección triangular, construidas con perfiles angulares ó placas roladas (plegadas) y, se montan mediante la unión tramos, por medio de placas atornilladas (cubrejuntas), destinadas al soporte de antenas de Telefonía Móvil. Se pretenden torres limpias en sus tres costados, por lo que todas las estructuras SDH estarán preparadas para instalar por su interior -y en trayectoria vertical- el sistema de acceso y la cama guía ondas.

### **2.3.1 Elementos y Accesorios**

Se definen en este apartado los accesorios a instalar sobre la torre. El sistema de acceso es el medio que permite la inspección y el control de las antenas y de la propia torre.

El sistema de acceso será mediante escalera que se extiende por la torre dispuesta en posición vertical en toda su longitud. La fijación a la estructura se realiza a cada 5m, máximo. La escalera

está formada por ángulos verticales (largueros) de LI 51 x 6mm, unidos por peldaños formados por redondos sólidos (OS) de 19 mm, soldados a los ángulos verticales, y separados 250 mm entre sí. El ancho de la escalera será de 400 mm. (a paños exteriores).

Los peldaños de ascenso deben ser de textura antiderrapante, ya sea por medio de arenas silíceas en la pintura ó usando varillas corrugadas. Como medida de seguridad, para evitar la caída de personas durante las operaciones de ascenso y descenso, se instalará un sistema de protección anticaídas homologado por cada país, por lo que será necesario dejar las preparaciones pertinentes para la instalación de cualquiera de estos sistemas.

Quando así se requiera se instalarán aros guarda hombre como se muestra en la figura 2.2, por lo cual, se deben considerar las preparaciones necesarias para su fijación a la escalera de acceso, la separación máxima entre aro y aro será de 1200mm.





FIGURA 2.2 ANILLOS DE SEGURIDAD

En los niveles de acceso a plataformas se prescindirá de la instalación de los aros cuando estos obstruyan el libre paso del usuario. El proveedor del sistema de protección anticaídas entregará por cada sistema instalado un certificado original de garantía, con el número de referencia del equipo y la fecha de instalación, que se incluirá en el proyecto específico.

### **2.3.2 Sistema de Sujeción de Cables**

Los guíaondas o coaxiales son cables de radiofrecuencia (RF), relativamente rígidos y con ciertas limitaciones a las curvaturas, no inferiores a 500 mm, que unen las antenas con los equipos de

radio situados en el interior de las casetas destinadas a sitios celulares ó a equipos, de intemperie. Su trayectoria se extiende por el interior de la torre, como guíaondas vertical y por el espacio comprendido entre torre y caseta ó equipo de intemperie, como guíaondas horizontal como se muestra en la figura 2.3.



FIGURA 2.3 GUÍA HORIZONTAL

La trayectoria vertical se diseña para fijar los cables en un perfil de 51 x 5mm, de 1400 mm de longitud, dispuesto horizontalmente y paralelo a la escalera de ascenso como se muestra en la figura 2.4.



FIGURA 2.4 GUÍA VERTICAL

Estos perfiles se instalan en toda la vertical separados cada 1.4 metros. La trayectoria horizontal se diseña para que se puedan fijar los cables guíaondas a un perfil transversal L 51 x 5mm, soportados sobre dos perfiles (largueros) L 76 x 9mm. En la parte superior y para proteger los coaxiales de cualquier impacto, se utilizará una lámina galvanizada de calibre 14 (1.89 mm) de espesor. La tapa protectora deberá diseñarse para permitir el paso de los cables.

Los tramos de la ~~es~~ escalerilla tendrán una longitud de 6000 y 3000 milímetros y un ancho de 600mm, ó 1000mm según los requerimientos de cada país. Se diseñarán también tramos curvos para cambios de trayectoria a 90° y 45°. La cama guíaondas

horizontal podrá instalarse directamente a la torre por medio de un sistema de atirantado, para el cuál se diseñaran los accesorios necesarios. Para el caso de sujetar la %escalera+ mediante postes de acero, estos se diseñarán telescópicos y los perfiles largueros de la %escalera+ podrán aligerarse. La cama guíaondas se instalará de forma tal, que la pendiente quede hacia la estructura evitando que los escurrimientos de agua, en caso de lluvia, afecten la caseta o equipos de intemperie.

### **2.3.3 Sistema de Protección de Puesta a Tierra**

El aterrizaje de la estructura, de las antenas y del pararrayos se realiza según las especificaciones de sistema de tierras vigente en cada país. El soporte del pararrayos se resuelve con un tubo OC de 50mm cedula 40, tendrá una longitud de 6000 mm, y se diseña de manera tal que permita el deslizamiento para facilitar los trabajos de mantenimiento, como se muestra en la figura 2.5



FIGURA 2.5 PARARRAYO

### 2.3.4 Balizamiento Nocturno

El sistema de balizamiento nocturno se instalará siguiendo normativas de la Dirección General de Aviación Civil ó el organismo regente en cada país.

Se proveerán como accesorios los soportes metálicos necesarios para instalar a la estructura los diferentes tipos de luminarias dictaminadas por la DAC ó el organismo oficial regulatorio en cada país. Debe considerarse también el soporte para la fotocelda como se muestra en la figura 2.6



FIGURA 2.6 BALIZAMIENTO NOCTURNO

### **2.3.5 Plataformas de Descanso y Trabajo**

Constituyen la zona de la torre destinada a la instalación, supervisión y mantenimiento de las antenas y de la propia torre, o al descanso de los trabajadores durante la realización de las tareas anteriores o durante su ascenso por dicha torre. Su construcción se efectúa mediante rejilla tipo Irving para evitar el deslizamiento del calzado, al mismo tiempo que permite el paso de agua evitando estancamientos y acumulaciones sobre la misma.

#### **Plataformas de descanso interiores**

En la torre de 60m, se dispondrá de 3 plataformas de descanso interiores, la primera a 15m de altura aproximadamente, la segunda a 30m aproximadamente, y la tercera a 45m

aproximadamente. La superficie se diseña con suficiente dimensión para permitir la estancia de una persona, además a 0.85 metros de altura de cada plataforma, se dispondrá de un barandal de protección.

### **Plataformas de trabajo interiores**

La zona de instalación de antenas, -tramos rectos de la torre- se dotará de dos plataformas de trabajo. Su construcción es similar a la de descanso. Los tramos rectos disponen de celosía horizontal a cada dos metros y, estas barras, se dejarán preparadas, para recibir plataforma de trabajo en los niveles que así convenga, como se muestra en la figura 2.7



FIGURA 2.7 PLATAFORMA INTERIOR

## Plataforma de trabajo exterior

Se diseñaran 2 tipos de plataformas de trabajo exteriores de sección triangular, una con longitud de caras de 3m y otra para 4m. Dispondrán de sectores andadores para el paso hombre que permitan a la vez trabajos de instalación y mantenimiento de equipos. Servirán de soporte de antenas de RF: La plataforma de 3m, permitirá instalar hasta 3 antenas por sector, separadas equidistantemente en toda la longitud del sector. La plataforma de 4m, permitirá instalar hasta 5 antenas por sector separadas equidistantemente en toda la longitud del sector como se muestra en la figura 2.8. Todas las plataformas se diseñan para soportar una carga de 250kg/m<sup>2</sup>

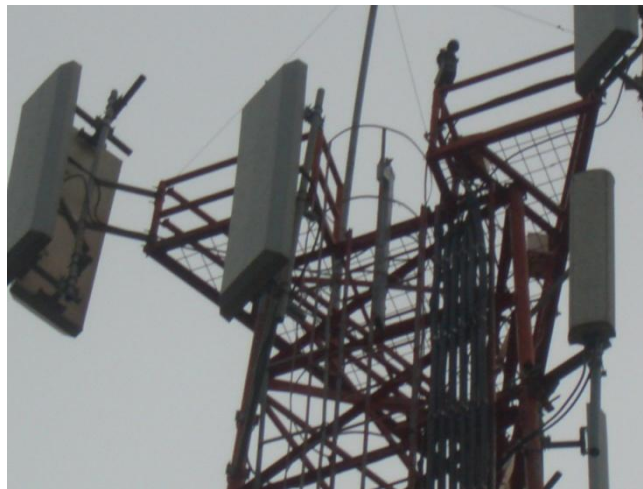


FIGURA 2.8 PLATAFORMA EXTERIOR



### 2.3.6 Soportes para Antenas Radio Frecuencias y Microondas

Los soportes de antenas son los elementos necesarios para la instalación de los sistemas radiantes sobre la torre de la forma más adecuada para que, en cada caso particular se consigan los objetivos de cobertura. Para sujetar las antenas en los soportes, se utilizarán tubos de amarre de diámetro variable según se trate de antenas de RF ó microondas que irán fijados mediante abrazaderas roscadas en su totalidad. Para sujetar las antenas RF en los soportes se utilizan tubos de amarre  $\varnothing C+ de =50$  m.m. cédula 40 ( $=60.3 \times 3.91$  mm) de 1800 y 2400 milímetros de longitud, según el modelo de antena a instalar y, para sujetar las microondas tubos de amarre  $\varnothing C+ de =100$ mm cédula 40 ( $=114 \times 6.02$  mm) de 1200 milímetros para antenas de hasta 1220mm. Para antenas de diámetros superiores la longitud del tubo será de 1800mm. Los soportes a diseñar para esta estructura son los siguientes:

- Ménsula fija para antena de RF
- Soporte delta para antenas de RF
- Ménsula fija para antena de microonda de 610 a 1220mm

- Ménsula fija para antena de microonda de 1830 a 2440mm
- Soporte universal para antena de microonda de 1830 a 2440mm

### **Ménsula Fija Para Antena**

Las ménsulas fijas para antenas de RF se diseñan para los tramos rectos y piramidales de la estructura, en ambos casos el tubo de amarre se instala en posición vertical. Consiste en una estructura de acero galvanizado que sirve para soportar antenas tipo panel, cuyo sistema radiante no está condicionado a separarse de la estructura como se muestra en la figura 2.9.



FIGURA 2.9 MÉNSULA O SOPORTE

La sujeción a la torre se efectúa a través de dos ménsulas, sujetas por herrajes mediante unión tipo sánduche a una pierna o montante vertical, y separadas entre sí una distancia de 1 metro como se muestra en la figura 2.10.



FIGURA 2.10 UNIÓN TIPO SÁNDUCHE

En sus extremos se sujeta el tubo amarre de antena, que estará separado respecto del montante vertical 300mm para facilitar las tareas de instalación de antenas, pudiendo ser esta longitud mayor en función de las dimensiones de la antena.

En este soporte el tubo amarre se considera incluido dentro del propio soporte. Los herrajes de sujeción del soporte deberán diseñarse para poder instalarles a cualquier nivel de la torre, lo cuál implica adaptarlos a los diferentes perfiles de las piernas.

Se montará una plataforma de trabajo interior de forma que se acceda con facilidad a la instalación y mantenimiento de las antenas.

### **Aceros Estructurales**

Las placas estructurales y perfiles utilizados, se ajustarán en cuanto a su composición química, condición de suministro, recepción, dureza y tolerancias conforme a la normativa A.S.T.M. para estructuras metálicas.

Los materiales empleados en la construcción e instalación de las estructuras soporte de antenas presentarán las siguientes características:

El acero estructural utilizado puede ser de dos tipos que corresponden a las siguientes características mecánicas:

**TABLA I.- PROPIEDADES FÍSICAS ACERO A-36**

<b>A-36(36,000 lb/pulg<sup>2</sup>)</b>	<b>ST</b>	<b>SI</b>
Límite elástico a tensión (F <sub>TY</sub> )	2,530 kg/cm <sup>2</sup>	248 MPa
Límite elástico a compresión (F <sub>CY</sub> )	2,530 kg/cm <sup>2</sup>	248 MPa
Módulo elástico a tensión (E <sub>T</sub> )	2,1x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	200,000 MPa
Módulo elástico a compresión (E <sub>C</sub> )	2,1x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	200,000 MPa
Coefficiente de Poisson ( )	0.3	0.3
Densidad (peso específico)	7,800x10 <sup>-6</sup> kg/cm <sup>3</sup>	76,518 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad transversal G = E/2(1+ )	0.787x10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	77,204 MPa

## 2.4 CIMENTACIÓN

Los materiales componentes del concreto deberán cumplir en todo momento con lo establecido las normativas para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, del país donde se construya.

La dosificación elegida para la preparación de las mezclas destinadas a la construcción de las cimentaciones de las torres se estudiará para que sea capaz de proporcionar concretos cuyas características mecánicas, estructurales y de durabilidad satisfagan sobradamente las condiciones indicadas en este pliego. Estos estudios se realizarán teniendo en cuenta, en todo lo posible las condiciones reales de obra.

Las características mecánicas de los concretos empleados en la cimentación deben cumplir con la resistencia de proyecto solicitada.

La resistencia de proyecto  $f'c$ , no será inferior a  $200 \text{ kg/cm}^2$  para el concreto en masa de la cimentación. Para los casos especiales de cimentación a base de losas rígidas o zapatas aisladas, los concretos a utilizar serán armados con un valor mínimo de  $f\phi = 250 \text{ kg/cm}^2$ , excepto los concretos para plantillas que será  $f\phi = 100 \text{ kg/cm}^2$ .

Las dimensiones máximas y mínimas del agregado y de los finos deberán cumplir con lo especificado en las normativas que apliquen en el país donde se construya la cimentación.

Por otra parte, el recubrimiento libre entre el plano exterior del acero de refuerzo y el límite del elemento no será menor de 50 mm. La parte de relleno que se debe colocar será a base de tepetate compactado.

En cuanto al control de calidad, factores de proporcionalidad para los ensayos de probetas, así como para la manejabilidad y trabajabilidad del concreto, se cumplirá con lo establecido en las normativas de aplicación de cada país y, será responsabilidad de la empresa suministradora de la estructura, comprobar a través de ensayos de laboratorio (cilindros de concreto ó extracción de corazones), que la resistencia del concreto sea la misma que se especifica en el diseño de cimentación.

El refuerzo del concreto, para el caso de tratarse de una cimentación a base de losa maciza o zapatas aisladas, pilotes, pilas etc. se realizará a base de barras de acero de corrugado grado 42, de acuerdo a los cálculos de proyecto.

Se define la cimentación por losa de concreto armado. Sin embargo, cada país podrá definir la tipología de cimentación que mejor convenga.

#### **2.4.1 Tipología de Cimentación**

Las estructuras muy esbeltas y de gran altura como es el caso de las torres, están sometidas a fuertes empujes horizontales de viento y en muchos casos resisten acciones sísmicas. Los momentos de vuelco transmitidos a la base dan lugar a fuertes tensiones de borde, unas de tracción y otras de compresión que, en terrenos deformables pueden producir giros o inclinaciones irreversibles.

Se definirá la cimentación para que el terreno sea capaz de absorber estas cargas, bien aumentando la superficie de apoyo,

bien contando con la colaboración del terreno en los laterales y en la base mediante una cimentación profunda. Además, la cimentación constituye una condición de borde de la superestructura y no siempre puede suponerse un empotramiento perfecto entre ambas.

La rigidez de la cimentación y sus posibilidades de giro o movimiento influyen sobre la distribución de esfuerzos en la torre y sobre las deformaciones que pueda sufrir el terreno en la zona de influencia de la cimentación causadas por la compresión del macizo sobre el mismo.

Para terrenos con un grado de sismicidad importante, estos movimientos se transmitirán a la estructura afectando a su comportamiento dinámico. Se trata por tanto de prever la forma en que las vibraciones del sustrato se transmiten a la estructura a través de su cimentación.





FIGURA 2.11 MEJORAMIENTO DEL SUELO

En general, las cimentaciones muy rígidas hacen que toda la estructura se mueva en la misma fase, con lo que movimientos diferenciales o efectos dinámicos inesperados quedan muy atenuados.

Se hace necesario rigidizar convenientemente la unión de la placa base y la cimentación (figura 2.11) para que el conjunto trabaje de manera solidaria. Se dimensionará los elementos de unión (anclas) que quedan empotrados en el concreto, para evitar desgarres por falta de adherencia.

## 2.4.2 Cimentación por Losa de Concreto Armado

Con este tipo de cimentación, figura 2.12; 2.13; 2.14 se reducen las tensiones de apoyo recurriendo a una zapata o losa de concreto armado de mayores dimensiones en planta ampliando así la superficie de contacto con el terreno. Su peso sirve también para centrar la resultante de cargas.



FIGURA 2.12 LOSA DE CONCRETO ARMADO



FIGURA 2.13 CIMENTACIÓN

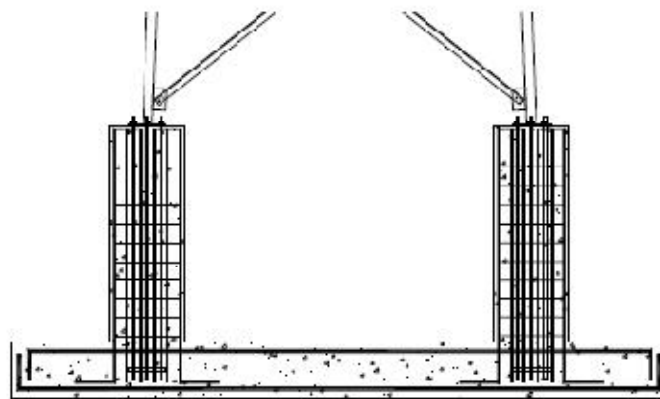


FIGURA 2.14 LOSA DE CONCRETO ARMADO

Existen diversos tipos de terrenos que presentan una problemática especial en los que habrá que realizar estudios detallados y requerirán rediseño de la cimentación

Suelos con materia orgánica: en zonas pantanosas, lacustres, marismas, estuarios. Se pueden producir asientos importantes. Se

emplearán soluciones especiales de cimentación cuando el contenido en materia orgánica supera el 20%.

Suelos colapsables: como los limos yesíferos, sufren asentamientos importantes es decir colapsan por humedecimiento (lluvia) al estar bajo carga.

Suelos expansivos: materiales arcillosos preconsolidados con apreciables cambios de volumen por variaciones de humedad.

Terrenos Karsticos: formaciones calizas con problemas de disolución, es decir sales disueltas en el agua pueden volverse a solidificar. Se pueden producir hundimientos bruscos.

Rellenos: de elevada compresibilidad, generalmente muy errática. La solución más aconsejable es atravesarlos con pozos o pilotes.

Laderas inestables: Exigen una fijación previa a cualquier obra de cimentación.

Terrenos agresivos al hormigón: con un porcentaje apreciable de sales o elementos nocivos para el concreto como sulfatos y magnesio. Se emplearán cementos especiales.

## 2.5 Recubrimientos

Los recubrimientos que se efectuarán a toda la estructura metálica y los accesorios serán

### 2.5.1 Galvanizado en Caliente

Todos los elementos que configuran el mástil estarán galvanizados en caliente según la norma A.S.T.M. A-123.

La galvanización en caliente es el procedimiento de un recubrimiento de zinc y/o de aleaciones de zinc-hierro sobre los productos de hierro y acero, mediante inmersión de los mismos en zinc fundido.

El espesor del recubrimiento galvanizado para el acero estructural será:

Para perfiles con espesor Acero  $\geq$  6 mm: recubrimiento medio 85  $\mu$ m (equivalente a 600 gr / m<sup>2</sup>) y espesor local de 70  $\mu$ m.

Para perfiles con espesor Acero  $\geq 3$  mm hasta  $< 6$ mm:  
recubrimiento medio 70  $\mu$ m y espesor local de 55  $\mu$ m.

El espesor del recubrimiento sobre los elementos roscados  
centrifugados será:

Para roscas con diámetro  $d \geq 20$  mm: recubrimiento medio 55  $\mu$ m  
y espesor local de 45  $\mu$ m.

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

Para roscas con diámetro  $d < 6$  mm: recubrimiento medio 25  $\mu$ m y  
espesor local de 20  $\mu$ m.

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 el baño.

No se admitirán 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, o por cualquier otra circunstancia que no esté debidamente documentada y justificada. Antes de efectuarse la galvanización el suministrador comprobará que la calidad, tamaño, orificios de ventilación y drenaje, acabado superficial, etc., son los correctos para que los espesores del recubrimiento de galvanizado sean los requeridos. En el caso de pequeñas piezas, como los tornillos, tuercas, arandelas, etc., la galvanización deberá centrifugarse debido a su pequeño tamaño. Bajo ningún concepto se efectuarán soldaduras después del proceso de galvanizado.

### **2.5.2 Sistema de Pintado**

El sistema de pintado cumplirá con la especificación actualizada de pintado de estructuras metálicas del país donde se instale la

estructura. La torre y todos sus accesorios, podrán pintarse una vez instalados y montados en sitio ó desde fábrica, según los requerimientos de cada país. El sistema de pintado en la estructura se utilizará por tres motivos: por motivos de minimizar el impacto visual, por señalización y camuflaje, y para aumentar su duración. En nuestro país por disposición de la DAC, se pinta las torres de colores Blanco y Naranja intercalados, empezando en naranja y terminando en naranja

## **2.6 Montaje de la Estructura**

Los elementos que componen la estructura estarán de acuerdo con las dimensiones, detalles y prescripciones indicadas en los planos. Las manipulaciones necesarias para la carga, descarga, transporte y almacenamiento, así como el montaje se realizarán con el cuidado suficiente para no provocar solicitaciones excesivas en ninguno de los elementos constructivos. El montaje de la estructura se efectuará con el equipo humano y material de montaje adecuado (figura 2.15). El armado de los diferentes tramos se efectuará in situ, verificando que todos los elementos se montan en su posición correcta, fundamentalmente, montantes y diagonales.





FIGURA 2.15 MONTAJE DE TORRE

Asimismo, se verificará que los diferentes elementos de unión, tornillos, arandelas, forros sean los apropiados. Se verificará que la unión entre tramos se efectúe con junta interior y cubrejuntas exteriores. Previo a la colocación del tramo de arranque (ver figura 2.16), se colocarán las calzas o alzados necesarios para lograr el espacio que hay que respetar entre la parte inferior de la estructura y el fondo de la excavación.



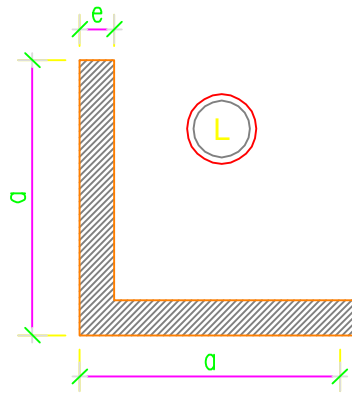
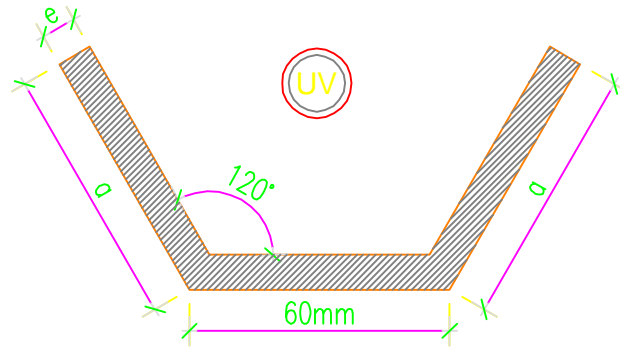
FIGURA 2.16 COLOCACIÓN DE PATA DE TORRE

# CAPITULO 4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La separación entre montantes de la torre debe ser mínimo el 8% de la altura de la torre y máximo el 12%.
- El momento de volteo máximo de diseño se determinará mediante la suma de los momentos producidos por cada una de las fuerzas horizontales.
- La Torre siempre debe crecer hacia abajo, pues de esta manera los nuevos montantes serán diseñados con dimensiones que soporten todo el peso que se encuentra arriba de los mismos.
- Una vez galvanizada la torre no se puede realizar ningún trabajo en el material pues pierde su protección para la corrosión.

- Si en una torre se desea aumentar la altura siempre será su incremento desde la parte inferior hacia la superior, pero no a la inversa, es decir reforzar o añadir desde la base más no del tramo final hacia arriba.
- Al momento de la instalación se recomienda revisar el nivel de la cimentación para cada una de las patas, debido a que unos pocos milímetros que tengamos de desnivel en la base produce al ganar altura una gran desviación, dando como resultado que los agujeros de la UV con los de los ángulos no coincidan, y produciendo un atraso en el montaje al tener que desarmar la estructura completamente para solucionar el problema



Ref.	Cantidad	Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc.			Nº de artículo/Referencia
Diseñado por J. MORA	Revisado por ING. HELGUERO	Aprobado por - fecha ING. HELGUERO -13/06/08	Nombre de archivo TORRE 60 M	Fecha 13/06/08	Escala 1:100
ESPOL			ELEMENTOS DE TORRE		
			02	Edición 1.1	Lámina 1/3



Fecha

Firma

Revisado

B

C

D

E

F

A

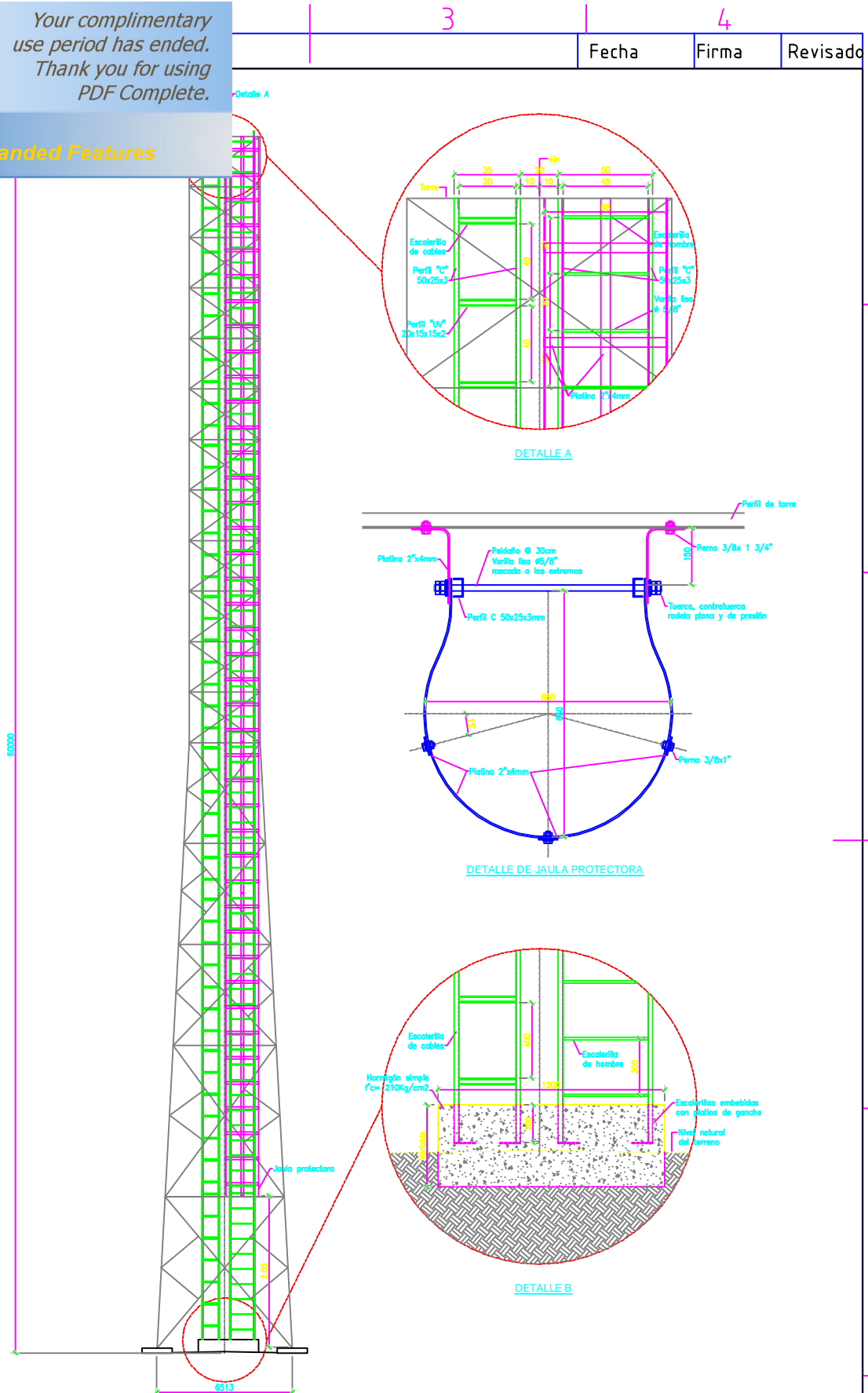
B

C

D

E

F



Ref.	Cantidad	Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc.	Nº de artículo/Referencia		
Diseñado por J. MORA	Revisado por ING. HELGUERO	Aprobado por - fecha ING. HELGUERO-13/06/08	Nombre de archivo TORRE 60M	Fecha 13/06/08	Escala 1:100
ESPOL		TORRE 60 METROS			
			01	Edición 1.1	Lámina 3/3



Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

## BIBLIOGRAFÍA

1. SAP2000 Desing Manuals version 7.4 Revisado mayo 2000. Integrated Finite Element Analysis and Desing of Structures.
2. Normativa Técnica aplicada para Estructura Soporte de Antenas en Celosía Tipo SDH de Telefónica Móviles versión 1 fecha : 20/07/05
3. Universidad Politécnica de Cataluña, Mecánica del Suelo, Tema 6, Introducción al comportamiento Mecánica del Suelo.
4. <http://vcm.net.ve/torres.html>
5. <http://vcm.net.ve/comunicaciones.html>
6. <http://www.empresario.com.co/totaltelecom/servicios.html>



Reproducido por GLOBAL  
ENGINEERING DOCUMENTS  
con la autorización de EIA



ANSI/TIA/EIA-222-F-1996  
Aprobada: 29 de marzo, 1996

TIA/EIA-222-F

# NORMA TIA/EIA

---

## NORMAS ESTRUCTURALES PARA TORRES Y ESTRUCTURAS DE ACERO PARA ANTENAS

---

**TIA/EIA-222-F**  
(Revisión de EIA/TIA-222-E)

JUNIO, 1996

---

TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION







## ADVERTENCIA

Las Normas y Publicaciones de Ingeniería de TIA/EIA se diseñan con el objetivo de servir al interés público eliminando los malentendidos entre fabricantes y compradores, facilitando la intercambiabilidad y mejoramiento de los productos y ayudando al comprador a seleccionar y obtener con la menor demora posible el producto mejor adaptado a sus necesidades particulares. La existencia de estas Normas y Publicaciones no impide de manera alguna que cualquier persona, ya sea miembro de TIA/EIA o no, fabrique o venda productos que no satisfagan estas Normas y Publicaciones; la existencia de estas Normas y Publicaciones tampoco impide su uso voluntario por parte de personas no miembros de TIA/EIA, ya sea para uso doméstico de la norma o para su uso internacional.

Las Normas y Publicaciones son adoptadas por TIA/EIA de acuerdo con la política de patentes del American National Standards Institute (ANSI). En consecuencia, TIA/EIA no asume responsabilidad alguna con relación a los titulares de patentes, ni asume responsabilidad alguna con relación a terceros que adopten estas Normas o Publicaciones.

No es la intención de esta Norma tratar todos los problemas de seguridad relacionados con su uso ni todos los requisitos legales aplicables. Es responsabilidad del usuario de esta Norma establecer prácticas de seguridad adecuadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones legales antes de su uso.

(De la Propuesta de Norma No. 3278, formulada con el conocimiento del Subcomité sobre Normas Estructurales para Torres y Estructuras de Acero para Antenas.)

Publicado por

©TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION 1996  
Standards and Technology Department  
2500 Wilson Boulevard  
Arlington, VA 22201



# NORMAS ESTRUCTURALES PARA TORRES Y ESTRUCTURAS DE ACERO PARA ANTENAS

## CONTENIDO

Sección	
Objetivo .....	1
ALCANCE .....	1
1 MATERIAL .....	1
1.1 Norma .....	1
2 CARGAS .....	2
2.1 Definiciones .....	2
2.2 Nomenclatura para la sección 2 - Cargas .....	3
2.3 Norma .....	4
2.4 Referencias .....	11
3 TENSIONES .....	11
3.1 Norma .....	11
4 FABRICACIÓN Y MANO DE OBRA .....	19
4.1 Norma .....	19
5 ACABADO EN TALLER .....	19
5.1 Norma .....	19
6 PLANOS, TOLERANCIAS DEL MONTAJE Y MARCACIÓN .....	19
6.1 Norma .....	19
7 FUNDACIONES Y ANCLAJES .....	20
7.1 Definiciones .....	20
7.2 Normas .....	21
7.3 Condiciones Especiales .....	22
7.4 Planos de las fundaciones .....	23
8 FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS RIENDAS .....	23
8.1 Definición .....	23
8.2 Normas .....	23
9 PRETENSADO Y CARGA DE PRUEBA DE LAS RIENDAS .....	23
9.1 Definiciones .....	23
9.2 Normas .....	24
10 TENSIÓN INICIAL DE LAS RIENDAS .....	24
10.1 Definición .....	24
10.2 Normas .....	24
10.3 Método de medición .....	24
11 REQUISITOS OPERATIVOS .....	25
11.1 Definiciones .....	25
11.2 Normas .....	25

12	PUESTA A TIERRA .....	25
	12.1 Definiciones .....	25
	12.2 Normas .....	25
13	ACCESORIOS PARA ASCENSO E INSTALACIONES DE TRABAJO .....	26
	13.1 Definiciones .....	26
	13.2 Normas .....	26
14	MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN .....	27
	14.1 Normas .....	27
15	ANÁLISIS DE TORRES Y ESTRUCTURAS EXISTENTES .....	27
	15.1 Normas .....	27
16	LISTADO DE VELOCIDADES BÁSICAS DEL VIENTO POR CONDADO .....	28

### ANEXOS

Anexo A:	LISTA DE VERIFICACIÓN PARA EL COMPRADOR .....	31
Anexo B:	CARGAS DE VIENTO DE DISEÑO PARA ANTENAS DE MICROONDAS/ REFLECTORES TÍPICOS .....	35
Anexo C:	TABLA DE VALORES ADMISIBLES DE TORSIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA ANTENAS PARABÓLICAS, REFLECTORES PASIVOS Y REFLECTORES DE SISTEMA PERISCÓPICO .....	47
Anexo D:	DETERMINACIÓN DE LA TORSIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL ADMISIBLES DEL HAZ PARA SISTEMA DE POLARIZACIÓN CRUZADA LIMITADA .....	52
Anexo E:	PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE TORRES .....	59
Anexo F:	CRITERIO PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS EXISTENTE .....	77
Anexo G:	FACTORES DE CONVERSIÓN .....	79
Anexo H:	COMENTARIO SOBRE LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA COMUNICACIONES RELACIONADOS CON EL HIELO .....	81
Anexo I:	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA TORRES .....	85
Anexo J:	OPCIONES PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN DE ANCLAJES PARA RIENDAS EN CONTACTO DIRECTO CON EL SUELO .....	87

## **NORMAS ESTRUCTURALES PARA TORRES Y ESTRUCTURAS DE ACERO PARA ANTENAS**

### **OBJETIVO**

El objetivo de estas normas es proporcionar criterios mínimos para la especificación y el diseño de torres y estructuras de acero para antenas. No es la intención de estas normas reemplazar los códigos aplicables. La información contenida en estas normas se obtuvo de las fuentes a las cuales se hace referencia en la presente y representa, a juicio del subcomité, las prácticas aceptadas por la industria en relación con las normas mínimas para el diseño de estructuras de acero para antenas. Esta información se presenta exclusivamente a título informativo. Aunque creemos que es correcta, no se debería confiar en esta información para ninguna aplicación específica sin un examen y verificación profesional de su exactitud y aplicabilidad por parte de un ingeniero habilitado. En estas normas se usan criterios de carga de viento que se basan en una probabilidad anual, y no pretenden abarcar todas las condiciones ambientales que podrían existir en una ubicación particular.

Estas normas se aplican a torres y estructuras de acero para antenas para todo tipo de servicios de comunicaciones, tales como AM, CATV, FM, Microondas, Celular, TV, VHF, etc.

Estas normas pueden ser adaptadas para su uso a nivel internacional; sin embargo, para ello se deberá determinar la correcta velocidad básica del viento (velocidad máxima del viento en una milla o "fastest-mile") y la carga de hielo en el sitio de emplazamiento en el país en cuestión en base a datos meteorológicos.

En estas normas las unidades equivalentes del Sistema Internacional se presentan entre corchetes [ ].

En el Anexo G se incluyen los factores para convertir al SI.

Es responsabilidad del usuario obtener la información específica de cada sitio y los requisitos que difieran de aquellos contenidos en estas normas.

El Anexo A incluye una lista de verificación que le facilitará al usuario especificar los requisitos para una estructura determinada al usar estas normas. Se advierte al usuario que las condiciones locales de viento y hielo, si son conocidas, reemplazan los valores mínimos indicados en la presente.

### **ALCANCE**

Estas normas describen los requisitos para torres y estructuras de acero que soportan antenas.

## **1 MATERIAL**

### **1.1 Norma**

1.1.1 A excepción de lo establecido en 1.1.2, los materiales deben satisfacer una de las normas siguientes.

1.1.1.1 El acero estructural, el acero colado, las piezas forjadas y los bulones deben satisfacer las especificaciones para materiales listadas en la edición del 1° de junio de 1989 de la publicación "*Specification for Structural Steel Buildings - Allowable Stress Design and Plastic Design*" del American Institute of Steel Construction, a la cual de aquí en más se hace referencia como especificación AISC.

1.1.1.2 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 the 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.

1.1.1.3 Los materiales para las estructuras y componentes tubulares deben satisfacer la sección 7.0 de la especificación ANSI/NEMA TT1-1983, "*Tapered Tubular Steel Structures*".

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

1.1.3 Bulones y dispositivos fijadores de tuercas (excluyendo los accesorios para las riendas).

1.1.3.1 Las conexiones antideslizantes y las conexiones sujetas a tracción en las cuales la aplicación de cargas externas 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 especificadas en la edición del 13 de noviembre de 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 en 1.1.3.1.

(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 en 1.1.3.1.)

1.1.3.2 Las conexiones de tipo portante se pueden hacer con bulones de alta resistencia ajustados hasta la condición de ajuste sin huelgo según lo definido en la especificación AISC mencionada en 1.1.3.1.

1.1.3.3 Si se usan bulones de alta resistencia ajustados de acuerdo con la especificación AISC mencionada en 1.1.3.1 no se requiere un dispositivo fijador de tuerca.

1.1.3.4 Los bulones no abarcados por 1.1.3.3 requieren un dispositivo fijador de tuerca.

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

## **2 CARGAS**

### **2.1 Definiciones**

2.1.1 Carga muerta o carga permanente – Peso de la estructura, riendas y accesorios.

2.1.2 Carga de hielo – Espesor radial de hielo aplicado uniformemente alrededor de las superficies expuestas de la estructura, riendas y accesorios.

2.1.2.1 A menos que se especifique lo contrario, un espesor de hielo radial especificado se debe considerar como hielo macizo.

2.1.2.2 La densidad del hielo macizo se debe considerar como  $56 \text{ lb/ft}^3$  [ $8,8 \text{ kN/m}^3$ ].

2.1.2.3 La densidad de la cencellada se debe considerar como  $30 \text{ lb/ft}^3$  [ $4,7 \text{ kN/m}^3$ ].

2.1.3 Carga de viento – Carga de viento según los requisitos especificados en 2.3 (ver Anexo A).

2.1.3.1 Velocidad básica del viento – Velocidad máxima del viento en una milla 33 ft [10 m] sobre el nivel del terreno correspondiente a una probabilidad anual de 0,02 (intervalo de recurrencia de 50 años).

2.1.4 Accesorios – Elementos unidos a la estructura tales como antenas, líneas de transmisión, conductos, equipos de iluminación, escaleras, plataformas, carteles, dispositivos de protección, etc.

2.1.4.1 Accesorio puntual – Accesorio cuya carga se puede suponer concentrada en un punto.

2.1.4.2 Accesorio lineal – Accesorio cuya carga se puede suponer distribuida sobre una sección de la estructura.

## 2.2 Nomenclatura para la Sección 2 - Cargas

$A_A$	Área proyectada de un accesorio lineal
$A_C$	Área proyectada de un accesorio puntual
$A_E$	Área proyectada efectiva de los componentes estructurales en una cara
$A_F$	Área proyectada de los componentes planos en una cara
$A_G$	Área bruta de una cara de la torre, determinada como si la cara fuera maciza
$A_R$	Área proyectada de los componentes estructurales circulares en una cara
$C$	Coefficiente de velocidad para los coeficientes de fuerza de las estructuras tipo monoposte
$C_A$	Coefficiente de fuerza para accesorio lineal o puntual
$C_D$	Coefficiente de fuerza de tiro de las riendas
$C_F$	Coefficiente de fuerza de la estructura
$C_L$	Coefficiente de fuerza de levantamiento de las riendas
$D$	Peso permanente de la estructura, riendas y accesorios
$D_F$	Factor de dirección del viento para componentes estructurales planos
$D_P$	Diámetro promedio o menor ancho promedio de una estructura tipo monoposte
$D_R$	Factor de dirección del viento para componentes estructurales circulares
$F$	Fuerza horizontal aplicada a una sección de la estructura
$F_C$	Carga de viento de diseño sobre un accesorio puntual
$F_D$	Fuerza de tiro total sobre una rienda
$F_L$	Fuerza de levantamiento total sobre una rienda



$G_H$	Factor de ráfaga para velocidad máxima del viento en una milla
$I$	Peso de hielo
$K_Z$	Coefficiente de exposición
$L_C$	Longitud de la cuerda entre los extremos de una rienda
$R_R$	Factor de reducción para componentes estructurales circulares
$V$	Velocidad básica del viento correspondiente a la ubicación de la estructura
$W_I$	Carga de viento de diseño sobre la estructura, accesorios, riendas, etc., con hielo radial
$W_O$	Carga de viento de diseño sobre la estructura, accesorios, riendas, etc., sin hielo radial
$d$	Diámetro de los cables de las riendas
$e$	Relación de solidez
$h$	Altura total de la estructura
$q_Z$	Presión de velocidad
$r$	Relación entre el diámetro de las esquinas y el diámetro de un círculo inscrito en una estructura tipo monoposte
$t$	Espesor de hielo radial
$z$	Altura por encima del nivel del terreno hasta el punto medio de la sección, accesorio o guía
$Q$	Ángulo dextrógiro formado por la cuerda que une los extremos de una rienda y el vector correspondiente a la dirección del viento

## 2.3 Norma

### 2.3.1 Cargas de viento y de hielo

2.3.1.1 La carga total de viento 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.

2.3.1.2 Esta norma no establece específicamente un requisito sobre el hielo. Dependiendo de la altura, elevación y condiciones de exposición de la torre, la carga de hielo puede representar una carga significativa para la estructura en la mayor parte del territorio de Estados Unidos. Si la estructura está ubicada en un sitio donde se prevé acumulación de hielo, al especificar los requisitos para la estructura se debe considerar una carga de hielo. (Ver Anexos A y H.)

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

$$F = q_Z G_H [C_F A_E + \Sigma (C_A A_A)] \text{ (lb) [N]}$$

Pero no debe ser mayor que  $2 q_Z G_H A_G$

donde  $A_G = \text{Área bruta de una cara de la torre (ft}^2\text{) [m}^2\text{]}$

(Nota: Se debe suponer que todos los accesorios, incluyendo las antenas, montajes y líneas, permanecen intactos y unidos a la estructura independientemente de su capacidad de carga de viento.)

2.3.3 La presión de velocidad ( $q_z$ ) y el coeficiente de exposición ( $K_z$ ) se deben calcular usando las siguientes ecuaciones (ver Anexo A):

$$q_z = 0,00256 K_z V^2 \text{ (lb/ft}^2\text{) para } V \text{ en mi/h ó}$$

$$q_z = 0,613 K_z V^2 \text{ [Pa] para } V \text{ en m/s}$$

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

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

$$1,00 \leq K_z \leq 2,58$$

$V$  = Velocidad básica del viento correspondiente a la ubicación de la estructura (mi/h) [m/s]

$z$  = Altura por encima del nivel medio del terreno hasta el punto medio de la sección (ft) [m]

2.3.3.1 A menos que se especifique lo contrario, la velocidad básica del viento ( $V$ ) correspondiente a la ubicación de la estructura se debe determinar en base a la sección 16.

#### 2.3.4 Factor de ráfaga

2.3.4.1 Para las estructuras reticuladas el factor de ráfaga ( $G_H$ ) se debe calcular usando la siguiente ecuación:

$$G_H = 0,65 + 0,60/(h/33)^{1/7} \text{ para } h \text{ en ft ó}$$

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

$$1,00 \leq G_H \leq 1,25$$

2.3.4.2 Para las estructuras tipo monoposte el factor de ráfaga ( $G_H$ ) debe ser igual a 1,69.

2.3.4.3 Se debe aplicar solamente un factor de ráfaga para toda la estructura.

2.3.4.4 Cuando sobre una estructura reticulada se monten estructuras tipo poste de acero tubulares o de celosía en voladizo, el factor de ráfaga para el poste y la estructura reticulada se debe basar en la altura de la estructura reticulada sin el poste. Las tensiones calculadas para las estructuras tipo poste y sus conexiones a estructuras reticuladas se deben multiplicar por 1,25 para compensar el mayor factor de ráfaga correspondiente a estructuras tipo poste montadas.

#### 2.3.5 Coeficientes de fuerza de las estructuras

2.3.5.1 Para las estructuras reticuladas, el coeficiente de fuerza ( $C_F$ ) para cada sección de la estructura se debe calcular usando las siguientes ecuaciones:

$$C_F = 4,0e^2 - 5,9e + 4,0 \text{ (Secciones cuadradas)}$$

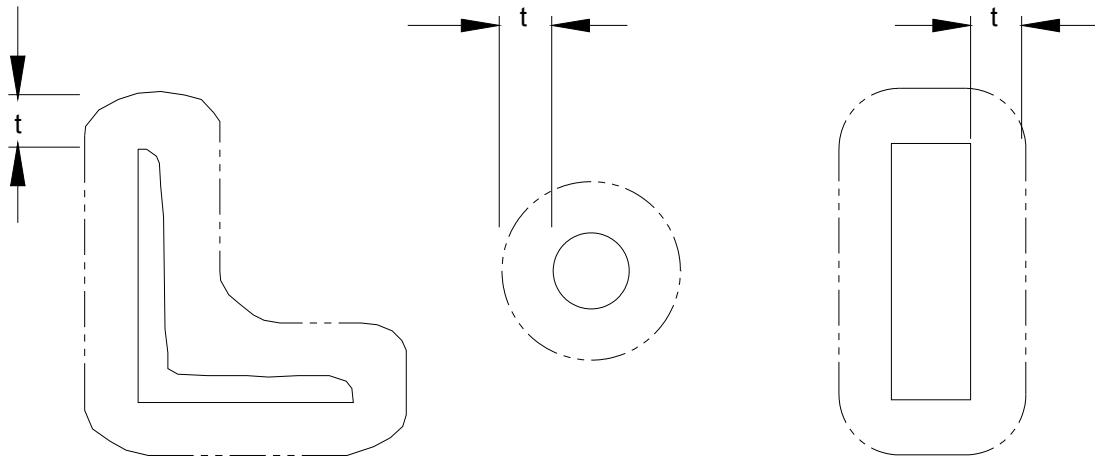
$$C_F = 3,4e^2 - 4,7e + 3,4 \text{ (Secciones triangulares)}$$

$$e = \text{relación de solidez} = (A_F + A_R)/A_G$$

$A_F$  = Área proyectada (ft<sup>2</sup>) [m<sup>2</sup>] de los componentes estructurales planos en una cara de la sección.

$A_R$  = Área proyectada (ft<sup>2</sup>) [m<sup>2</sup>] de los componentes estructurales circulares en una cara de la sección y, si está especificado, área proyectada de hielo en los componentes estructurales planos y circulares. (Ver Figura 1).

(Nota: El área proyectada de los componentes estructurales debe incluir el área proyectada de las placas de conexión.)



$t$  = Espesor radial de hielo especificado

**Figura 1**

(Nota: Se supondrá que, si está especificado, el hielo se acumula uniformemente sobre todas las superficies tal como se ilustra. El área proyectada adicional provocada por la acumulación de hielo se puede considerar cilíndrica, aunque el área proyectada sin hielo sea plana. En el caso de accesorios lineales poco espaciales con acumulación de hielo se debe considerar el cambio de geometría de circular a plana.)

2.3.5.2 Para las estructuras tipo monoposte de acero, el coeficiente de fuerza de la estructura ( $C_F$ ) se debe determinar a partir de la Tabla 1.

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

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

(Nota: Para las estructuras tipo monoposte de acero  $A_E$  debe ser el área proyectada real calculada en base al diámetro del poste o su ancho total.)

2.3.6.1 Los factores de dirección del viento,  $D_F$  y  $D_R$ , se deben determinar a partir de la Tabla 2.

2.3.6.2 El factor de reducción ( $R_R$ ) para los componentes estructurales circulares se debe calcular a partir de la ecuación:

$$R_R = 0,51e^2 + 0,57 \quad R_R \leq 1,0$$

2.3.6.3 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.

<b>Tabla 1</b>					
<b>Coefficientes de fuerza (<math>C_F</math>) para estructuras tipo monoposte en voladizo</b>					
C (mph ft)	Circular	16 lados $r < 0,26$	16 lados $r \geq 0,26$	12 lados	8 lados
< 32	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
32 a 64	$\frac{130}{(C)^{1,3}}$	$1,78 + 1,40r - \frac{C}{91,5} - \frac{C(r)}{22,9}$	$0,72 + \frac{(64 - C)}{44,8}$	$\frac{12,5}{(C)^{0,6}}$	1,20
> 64	0,59	$1,08 - 1,40r$	0,72	1,03	1,20
<b>Unidades del SI</b>					
C (m/s m)	Circular	16 lados $r < 0,26$	16 lados $r \geq$	12 lados	8 lados
< 4,4	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
4,4 a 8,7	$\frac{9,74}{(C)^{1,3}}$	$1,78 + 1,40r - \frac{C}{12,5} - \frac{C(r)}{3,12}$	$0,72 + \frac{(8,7 - C)}{6,10}$	$\frac{3,78}{(C)^{0,6}}$	1,20
> 8,7	0,59	$1,08 - 1,40r$	0,72	1,03	1,20
$C = \sqrt{K_Z} V D_p$ para $D_p$ en ft [m]					
Notas:					
1. Estos coeficientes de fuerza se aplican solamente a las estructuras tipo monoposte en voladizo aisladas o montadas en la parte superior de una estructura reticulada.					
2. Los coeficientes de fuerza indicados toman en cuenta las reducciones de la carga de viento bajo condiciones de flujo supercrítico y, por lo tanto, no se aplican a los accesorios unidos a la estructura. En la Tabla 3 se indican los coeficientes de fuerza para los accesorios.					
3. Cualquiera sea la geometría de la sección transversal, no es necesario que $C_f$ sea mayor que 1,2 para ningún valor de C.					
4. V es la velocidad básica del viento para la condición de carga investigada.					

<b>Tabla 2</b>					
<b>Factores de dirección del viento</b>					
Sección transversal de la torre	Cuadrada		Triangular		
Dirección del viento	Normal	$\pm 45^\circ$ *	Normal	$60^\circ$ *	$\pm 90^\circ$ *
$D_F$	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.

2.3.7 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 debe determinar a partir de la Tabla 3. El coeficiente de fuerza para miembros cilíndricos se puede aplicar al área proyectada adicional del hielo radial, si éste está especificado. (Ver Figura 1.)

<b>Tabla 3</b>		
<b>Coefficientes de fuerza para accesorios</b>		
Tipo de miembro	Relación de aspecto $\leq 7$	Relación de aspecto $\geq 25$
	$C_A$	$C_A$
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 tiene una fuerza uniformemente distribuida.)

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

2.3.8 Independientemente de su ubicación, los accesorios lineales no considerados como componentes estructurales de acuerdo con 2.3.6.3 se deben incluir en el término  $\sum C_A A_A$ .

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

2.3.9.1 En el caso de los mástiles arriendados la sección que se considera sometida a la fuerza uniformemente distribuida no debe ser mayor que la longitud entre los niveles de las riendas.

2.3.9.2 En el caso de las estructuras autosoportadas la sección que se considera sometida a la fuerza uniformemente distribuida no debe tener más de 60 ft [18 m].

2.3.9.3 En el caso de las estructuras tipo monoposte de acero la sección que se considera sometida a la fuerza uniformemente distribuida no debe tener más de 30 ft [9,1 m].

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

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

donde  $\sum C_A A_C$  considera todos los elementos del accesorio puntual, incluyendo todas las líneas de alimentación, ménsulas, etc. 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.

2.3.10.1 La presión de velocidad ( $q_z$ ) se debe calcular en base a la altura de la línea de centro del accesorio.

2.3.10.2 En el caso de las estructuras reticuladas el factor de ráfaga ( $G_H$ ) se debe calcular en base a la altura total de la estructura (ver 2.3.4.4), y en el caso de las estructuras tipo monoposte este factor debe ser igual a 1,69.

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

2.3.10.4 El coeficiente de fuerza ( $C_A$ ) aplicado al área proyectada ( $\text{ft}^2$ ) [ $\text{m}^2$ ] de un accesorio puntual ( $A_C$ ) se debe determinar a partir de la Tabla 3. El coeficiente de fuerza para miembros cilíndricos se puede aplicar a las porciones cilíndricas del accesorio y al área proyectada adicional del hielo, si éste está especificado. (Ver Figura 1).

2.3.10.5 Cuando el fabricante de un accesorio provee un área de placa plana equivalente en base a la Revisión C de esta norma ( $A_F = 2/3 A_R$ ), al determinar las cargas de viento de diseño al área 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.

2.3.11 En ausencia de datos más precisos, las cargas de viento de diseño para antenas de microondas / reflectores pasivos se deben determinar usando el Anexo B.

2.3.12 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.

2.3.13 El apantallamiento de las antenas no se debe considerar.

2.3.14 La carga de viento de diseño sobre las riendas se debe determinar de acuerdo con la Figura 2. Se puede asumir una carga de viento de diseño uniforme en base a la presión de velocidad ( $q_z$ ) a la mitad de la altura de cada rienda.

2.3.15 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 indicadas en la Tabla 2.

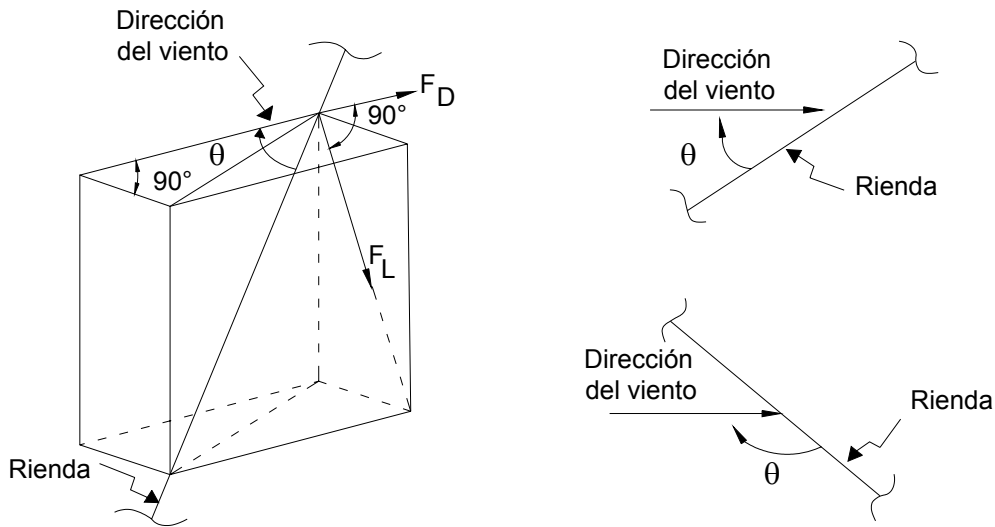
2.3.16 Al calcular las máximas tensiones en los miembros y reacciones de la estructura se deben considerar cada una de las siguientes combinaciones de cargas (ver Anexo A):

$$D + W_0$$

$$D + 0,75 W_I + I$$

(Nota: Si el comprador o la autoridad local especifica que la velocidad básica del viento ocurre simultáneamente con una carga de hielo, no se debe aplicar ningún factor de reducción a  $W_I$ .)

**Fuerzas de viento sobre las riendas**



- $F_D = q_z G_H C_D d L_C =$  Fuerza de tiro total (lb) [N]
- $F_L = q_z G_H C_L d L_C =$  Fuerza de levantamiento total (lb) [N]
- $q_z =$  Presión de velocidad a la mitad de la altura de la rienda (lb/ft<sup>2</sup>) [Pa] (ver 2.3.3)
- $G_H =$  Factor de ráfaga en base a la altura total de la estructura (ver 2.3.4)
- $d =$  Diámetro de los cables de la rienda (ft) [m]
- $L_C =$  Longitud de la cuerda entre los extremos de la rienda (ft) [m]
- $\theta =$  Ángulo dextrógiro formado por la cuerda entre los extremos de la rienda y el vector de la dirección del viento ( $\theta \leq 180^\circ$ )
- $C_D = 1,2 \sin^3 \theta$
- $C_L = 1,2 \sin^2 \theta \cos \theta$

**Figura 2**

## 2.4 Referencias

AASHTO, "*Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaries and Traffic Signals*", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1995 y especificaciones interinas de 1988.

ASCE, "*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*", ASCE 7-93, American Society of Civil Engineers, New York, NY, 1993.

Diehl, W.S., "*Engineering Aerodynamics*", Revised Edition, Ronald Press Co., New York, NY, 1936.

IASSS, "*Recommendations for Guyed Masts*", International Association for Shell and Spatial Structures, Working Group Nr 4, 1981.

Lou, T., "*Force Coefficients for Transmission Towers*", Informe para el Doctorado en Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Texas Tech University, Lubbock, TX, 1983.

Simiu, E., Changery, M.J. y Filliben, J.J., "*Extreme Wind Speeds at 129 Stations in the Contiguous United States*", Building Science Series Report 118, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1979.

## 3 TENSIONES

### 3.1 Norma

3.1.1 A menos que se especifique lo contrario, los miembros estructurales se deben diseñar de acuerdo con la especificación AISC o AISI correspondiente.

3.1.1.1 Para las estructuras de menos de 700 ft [213 m] de altura las tensiones admisibles se pueden incrementar en 1/3 para las dos combinaciones de cargas definidas en 2.3.16.

3.1.1.2 Para las estructuras de 1200 ft [366 m] de altura o mayores no se deben incrementar las tensiones admisibles.

3.1.1.3 Para las estructuras comprendidas entre 700 ft [213 m] y 1200 ft [366 m] de altura las tensiones admisibles se pueden incrementar interpolando linealmente entre 1/3 y 0.

(Nota: Para las estructuras de 1200 ft [366 m] de altura o mayores las tensiones admisibles no se incrementan debido a las incertidumbres de los efectos del viento más allá de esta altura.)

3.1.1.4 A los fines de la determinación de las tensiones admisibles, la altura de la estructura se debe basar en la altura total de la estructura, incluyendo los postes tubulares o de celosía montados sobre la misma.



3.1.1.5 Ver 2.3.4.4 en referencia a los incrementos de tensión requeridos en el caso de estructuras tipo poste tubulares o de celosía en voladizo montadas sobre estructuras reticuladas.

3.1.2 En el caso de las estructuras arriendadas, al calcular las tensiones se debe considerar el desplazamiento del mástil en cada uno de los niveles de las riendas.

3.1.3 No es necesario satisfacer los requisitos sobre conexión de extremos y relleno intermitente indicados en la sección E4 de la especificación AISC para miembros formados por dos perfiles angulares si al determinar las tensiones admisibles la relación de esbeltez para el modo de pandeo que involucra deformación relativa entre los perfiles se modifica de la siguiente manera:

$$\left(\frac{KL}{R}\right)_M = \sqrt{\left(\frac{KL}{R}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{R_1}\right)^2}$$

donde

$\left(\frac{KL}{R}\right)_0$  = esbeltez de columna del miembro armado que actúa como una unidad respecto del eje que involucra deformación relativa

$\frac{a}{R_1}$  = mayor esbeltez de columna de los componentes individuales

$\left(\frac{KL}{R}\right)_M$  = esbeltez de columna modificada del miembro armado

a = distancia entre conectores

$R_1$  = mínimo radio de giro de un componente individual

3.1.4 Se debe usar un coeficiente de reducción igual a 0,75 al calcular las áreas netas efectivas de acuerdo con la sección B3 de la especificación AISC para perfiles angulares y otros miembros similares conectados por un ala con uno o dos sujetadores.

3.1.5 El factor de reducción de 3.1.4 no se aplica a la investigación del corte en bloque requerida de acuerdo con la sección J4 de la especificación AISC. Las áreas netas sujetas a corte y tracción se deben basar en diámetros de orificio 1/6 pulgada [1,6 mm] más grandes que los diámetros de los orificios para bulones.

3.1.6 Los orificios para bulones no deben ser considerados como "orificios para pasadores" (pin holes), conforme a lo referido en la sección D3 de la especificación AISC.

3.1.7 A los fines de calcular las tensiones de apoyo admisibles de acuerdo con la sección J3.7 de la especificación AISC, la deformación alrededor de los orificios para bulones constituye una consideración de diseño.

3.1.8 La Tabla J3.5 de la especificación AISC es aplicable excepto en los bordes cizallados donde la mínima distancia al borde debe ser igual a 1,5 por el diámetro del bulón.

- 3.1.9 La longitud no apoyada medida de un miembro comprimido se debe determinar considerando la rigidez de las partes conectadas y la dirección de pandeo alrededor del eje considerado.
- 3.1.10 Si, al calcular las tensiones admisibles, para los miembros con alas o miembros cuyos extremos están fijados mediante un único bulón se consideran factores de longitud efectiva menores que 1,00 cada uno de los factores debe ser justificado mediante ensayo o cálculo.
- 3.1.11 En las estructuras arriadas, al calcular las tensiones admisibles de los miembros se debe considerar la estabilidad de la estructura entre los niveles de las riendas.
- 3.1.12 Preferentemente el valor máximo de la relación de esbeltez efectiva para miembros comprimidos debe ser de 150 para montantes, 200 para miembros de arriostamiento y 250 para miembros redundantes (miembros que se utilizan exclusivamente para reducir la esbeltez de otros miembros).
- 3.1.13 Los arriostamientos y los elementos redundantes que se usen para reducir la relación de esbeltez de los miembros comprimidos deben ser capaces de soportar una fuerza normal al miembro soportado igual a 1,5 por ciento de la carga axial calculada del miembro soportado. Esta fuerza no se aplicará simultáneamente con las fuerzas resultantes de las cargas aplicadas directamente sobre la estructura.
- 3.1.14 Perfiles angulares de acero estructural que actúan como miembros comprimidos
- 3.1.14.1 Las tensiones de compresión admisibles se deben calcular de acuerdo con la norma "*Specification for Allowable Stress Design of Single Angle Members*" de AISC, excepto que no se aplican los requisitos sobre pandeo flexotorsional.
- 3.1.14.2 Los miembros sujetos a cargas laterales, las cuales inducen flexión, deben satisfacer los requisitos de la sección 6 de la especificación AISC indicada en 3.1.14.1.
- 3.1.14.3 Los factores de longitud efectiva se deben calcular de acuerdo con ANSI/ASME 10-90, "*Design of Latticed Steel Transmission Towers*", a la cual de aquí en más se hace referencia como ASCE 10. (Ver Tabla 4.)
- (Nota: Los factores de longitud efectiva establecidos en ASCE 10 se adoptaron para ajustar las tensiones de compresión admisibles de AISC por los efectos de la carga axial excéntrica y restricción parcial de los extremos.)
- 3.1.14.4 Los factores de longitud efectiva diferentes a los especificados en el presente documento deben ser justificados mediante ensayos.
- 3.1.14.5 Las relaciones de esbeltez (L/R) indicadas en las Figuras 3 y 4 se deben usar a modo de guía para determinar las relaciones de esbeltez medidas y efectivas.
- 3.1.14.6 Los miembros se deben considerar totalmente efectivos cuando la relación entre su ancho y su espesor (w/t) no es mayor que el valor limitante especificado en ASCE 10.

3.1.14.6.1 Si las relaciones ancho-espesor exceden el valor limitante, las tensiones admisibles se deben reducir de acuerdo con la sección 4 de la especificación AISC mencionada en 3.1.14.1 con  $Q$  igual al valor calculado para  $F_{cr}$  en ASCE 10 dividido por la tensión de fluencia del miembro.

3.1.14.6.2 Para los perfiles conformados en frío el ancho  $w$  es igual a la distancia entre el radio interno de doblado y la fibra extrema, pero nunca menor que el ancho del perfil menos tres veces su espesor.

3.1.14.6.3 Las relaciones ancho-espesor ( $w/t$ ) no deben ser mayores que 25.

3.1.14.7 Las curvas de esbeltez efectiva de ASCE 10, curvas 5 y 6 de la Tabla 4, se deben restringir a los arriostramientos y miembros redundantes con múltiples bulones o conexiones soldadas correctamente detalladas. Además, las conexiones deben ser a miembros que posean una resistencia a la flexión adecuada para resistir la rotación de la unión, incluyendo los efectos de las escuadras de refuerzo.

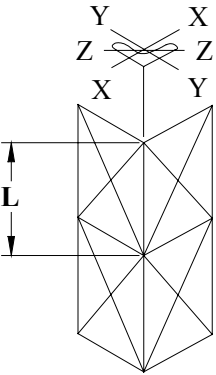
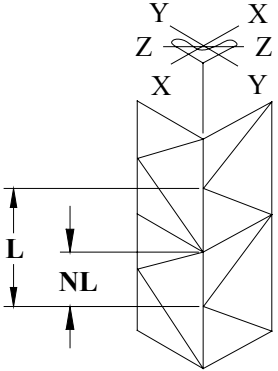
3.1.14.8 Si en una unión no se puede evitar la excentricidad, se deben considerar debidamente las tensiones adicionales inducidas en los miembros.

3.1.15 Al calcular las tensiones para las estructuras tipo monoposte se deben considerar los momentos flectores secundarios provocados por las cargas verticales.

3.1.15.1 Las tensiones admisibles combinadas de flexión y carga axial para estructuras tipo monoposte de acero poligonales o facetadas se deben determinar a partir de la Tabla 5.

Tabla 4

ANSI/ASCE 10-09 CURVAS DE ESBELTEZ EFECTIVA	
CURVAS 1-3 $\frac{L}{R} \leq 120$	CURVAS 4-6 $\frac{L}{R} > 120$
<p><u>CURVA 1</u> <math>\frac{KL}{L} = \frac{L}{R}</math> (CONCÉNTRICO AMBOS EXTREMOS)</p> <p><u>CURVA 2</u> <math>\frac{KL}{R} = 30 + 0,75 \frac{L}{R}</math> (EXCÉNTRICO EN UN EXTREMO)</p> <p><u>CURVA 3</u> <math>\frac{KL}{R} = 60 + 0,50 \frac{L}{R}</math> (EXCÉNTRICO AMBOS EXTREMOS)</p>	<p><u>CURVA 4</u> <math>\frac{KL}{R} = \frac{L}{R}</math> (SIN RESTRICCIÓN EN LOS EXTREMOS)</p> <p><u>CURVA 5</u> <math>\frac{KL}{R} = 28,6 + 0,762 \frac{L}{R}</math> (RESTRICCIÓN PARCIAL EN UN EXTREMO)</p> <p><u>CURVA 6</u> <math>\frac{KL}{R} = 46,2 + 0,615 \frac{L}{R}</math> (RESTRICCIÓN PARCIAL AMBOS EXTREMOS)</p>

<b>PERFILES ANGULARES QUE ACTÚAN COMO MIEMBROS COMPRIMIDOS RELACIONES DE ESBELTEZ PARA MONTANTES ARRIOSTRADOS</b>	
<b>ARRIOSTRAMIENTO SIMÉTRICO</b>	
	<p>RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA:</p> $\frac{L}{R_z}$ <p>RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA:</p> $\frac{L}{R_z} \leq 120 \quad \frac{L}{R_z} > 120$ <p style="text-align: center;"><b>CURVA 1      CURVA 4</b></p>
<b>ARRIOSTRAMIENTO ALTERNADO</b>	
	<p>RELACIONES DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDAS:</p> $\frac{L}{R_x}, \frac{L}{R_y} \text{ o } \left( \frac{1+2N}{3} \right) \frac{L}{R_z}$ <p>RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA:</p> $\frac{L}{R} \text{ MAX} \leq 120 \quad \frac{L}{R} \text{ MAX} > 120$ <p style="text-align: center;"><b>CURVA 1      CURVA 4</b></p>
<p><b>NOTA:</b> PARA LOS MIEMBROS DE LOS MONTANTES LA LONGITUD MEDIDA (L) DEBE SER IGUAL A LA SEPARACIÓN DE LOS PANELES MEDIDA A LO LARGO DEL EJE DEL MONTANTE.</p>	

**Figura 3**

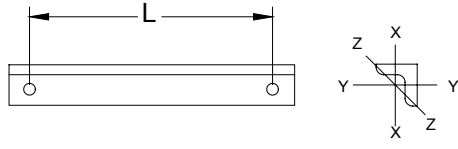
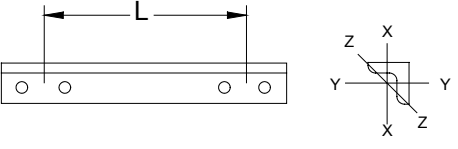
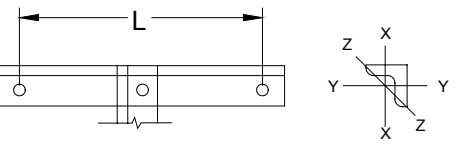
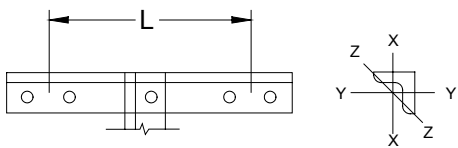
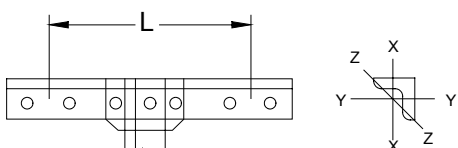
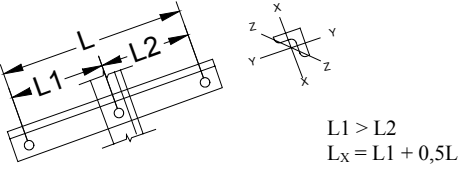
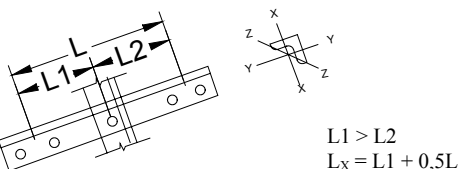
<b>PERFILES ANGULARES QUE ACTÚAN COMO MIEMBROS COMPRIMIDOS</b> <b>RELACIONES DE ESBELTEZ PARA MIEMBROS DE ARRIOSTRAMIENTO</b>		
La sección 3.1.9 trata la determinación de la longitud medida, L.		
	RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA: $\frac{L}{R_z}$	$\frac{L}{R_z}$
	RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA: $\frac{L}{R_z} \leq 120$ CURVA 3	$\frac{L}{R_z} > 120$ CURVA 4
	RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA: $\frac{L}{R_z}$	$\frac{L}{R_z}$
	RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA: $\frac{L}{R_z} \leq 120$ CURVA 3	$\frac{L}{R_z} > 120$ CURVA 6
	RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA: $\frac{L}{R_x} \text{ o } \frac{0,5L}{R_z}$	$\frac{L}{R_x} \text{ o } \frac{0,5L}{R_z}$
	RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA: $\frac{L}{R} \text{ MAX} \leq 120$ CURVA 3	$\frac{L}{R} \text{ MAX} > 120$ CURVA 4
	RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA: $\frac{L}{R_x} \text{ o } \frac{0,5L}{R_z}$	$\frac{L}{R_x} \text{ o } \frac{0,5L}{R_z}$
	RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA: $\frac{L}{R} \text{ MAX} \leq 120$ CURVA 3	$\frac{L}{R_x} > 120$ CURVA 6 $\frac{0,5L}{R_z} > 120$ CURVA 5
	RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA: $\frac{L}{R_x} \text{ o } \frac{0,5L}{R_z}$	$\frac{L}{R_x} \text{ o } \frac{0,5L}{R_z}$
	RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA: $\frac{L}{R} \text{ MAX} \leq 120$ CURVA 3	$\frac{L}{R} \text{ MAX} > 120$ CURVA 6
 <p> <math>L_1 &gt; L_2</math>  <math>L_x = L_1 + 0,5L_2</math> </p>	RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA: $\frac{L_x}{R_x} \text{ o } \frac{L_1}{R_z}$	$\frac{L_x}{R_x} \text{ o } \frac{L_1}{R_z}$
	RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA: $\frac{L}{R} \text{ MAX} \leq 120$ CURVA 2	$\frac{L}{R} \text{ MAX} > 120$ CURVA 4
 <p> <math>L_1 &gt; L_2</math>  <math>L_x = L_1 + 0,5L_2</math> </p>	RELACIÓN DE ESBELTEZ CRÍTICA MEDIDA: $\frac{L_x}{R_x} \text{ o } \frac{L_1}{R_z}$	$\frac{L_x}{R_x} \text{ o } \frac{L_1}{R_z}$
	RELACIONES DE ESBELTEZ EFECTIVA: $\frac{L}{R} \text{ MAX} \leq 120$ CURVA 2	$\frac{L_x}{R_x} > 120$ CURVA 6 $\frac{0,5L}{R_z} > 120$ CURVA 5
Nota: Para los miembros de arriostramiento con conexiones soldadas o con dos o más bulones la longitud medida (L) no debe ser menor que la distancia entre los baricentros de las conexiones en cada extremo. Se puede considerar que las conexiones soldadas correctamente detalladas proporcionan restricción parcial.		

Figura 4

<b>Tabla 5</b>	
<b>Tensiones admisibles combinadas de flexión y carga axial para estructuras tipo monoposte de acero poligonales o facetadas</b>	
Secciones compactas	
$F_B = 0,60 F_Y$	
Secciones no compactas	
16 lados	$215 \leq \sqrt{F_Y} w/t \leq 365$ $F_Y$ en ksi $565 \leq \sqrt{F_Y} w/t \leq 958$ $F_Y$ en MPa $F_B = 0,852 F_Y (1,0 - 0,00137 \sqrt{F_Y} w/t)$ ksi $F_B = 0,852 F_Y (1,0 - 0,000522 \sqrt{F_Y} W/t)$ MPa
12 lados	$240 \leq \sqrt{F_Y} w/t \leq 365$ $F_Y$ en ksi $630 \leq \sqrt{F_Y} w/t \leq 958$ $F_Y$ en MPa $F_B = 0,870 F_Y (1,0 - 0,00129 \sqrt{F_Y} w/t)$ ksi $F_B = 0,870 F_Y (1,0 - 0,000491 \sqrt{F_Y} w/t)$ MPa
8 lados	$260 \leq \sqrt{F_Y} w/t \leq 365$ $F_Y$ en ksi $683 \leq \sqrt{F_Y} w/t \leq 958$ $F_Y$ en MPa $F_B = 0,852 F_Y (1,0 - 0,00114 \sqrt{F_Y} w/t)$ ksi $F_B = 0,852 F_Y (1,0 - 0,000434 \sqrt{F_Y} w/t)$ MPa
$F_B$ = Tensión admisible combinada de flexión y carga axial $F_Y$ = Resistencia a la fluencia $t$ = Espesor de pared $w$ = Dimensión real de la cara plana, pero no menor que la dimensión calculada usando un radio de doblado igual a $4t$	
Nota: Las ecuaciones se obtuvieron del informe TLMRC-87-R3, "Local Buckling Strength of Polygonal Tubular Poles", EPRI, abril de 1987.	

3.1.16 El diseño del hormigón armado para las fundaciones y los anclajes de las riendas se debe hacer de acuerdo con la norma "Building Code Requirements for Reinforced Concrete" (ACI 318-89), publicada por el American Concrete Institute.

3.1.16.1 Para las estructuras de menos de 700 ft [213 m] de altura la resistencia requerida del hormigón armado debe ser igual a 1,3 por las reacciones de la estructura producidas por cada una de las combinaciones de cargas definidas en 2.3.16.

3.1.16.2 Para las estructuras con una altura mayor o igual a 1200 ft [366 m] la resistencia requerida del hormigón armado debe ser igual a 1,7 por las reacciones de la estructura producidas por cada una de las combinaciones de cargas definidas en 2.3.16.

3.1.16.3 Para las estructuras con una altura comprendida entre 700 ft [213 m] y 1200 ft [366 m] la resistencia requerida del hormigón armado se debe determinar interpolando linealmente entre 1,3 y 1,7 y multiplicando el valor obtenido por las reacciones de la estructura.

3.1.16.4 A los fines de la determinación de la resistencia requerida del hormigón armado, la altura de una estructura se debe basar en la altura total de la estructura, incluyendo los postes tubulares o de celosía montados sobre la misma.

## **4 FABRICACIÓN Y MANO DE OBRA**

### **4.1 Norma**

4.1.1 La fabricación y la mano de obra deben satisfacer las normas generalmente aceptadas por la industria del acero estructural.

4.1.2 Los procedimientos de soldadura deben satisfacer los requisitos de las correspondientes especificaciones AISC o AISI.

## **5 ACABADO EN TALLER**

### **5.1 Norma**

5.1.1 En ausencia de otros requisitos específicos, todos los materiales deben ser galvanizados (ver Anexo A).

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 y/o patentados. En estos casos se debe especificar un método alternativo para controlar la corrosión.

5.1.1.2 Ferretería – La ferretería debe ser galvanizada de acuerdo con ASTM A153 (sistema de inmersión en caliente) o bien ASTM B695 Clase 50 (sistema mecánico).

5.1.1.3 Cables de las riendas – Los cables zincados para riendas deben ser galvanizados de acuerdo con ASTM A475 o ASTM A586.

## **6 PLANOS, TOLERANCIAS DEL MONTAJE Y MARCACIÓN**

### **6.1 Norma**

6.1.1 Se deben proveer planos generales, planos de montaje u otra documentación que indique las marcaciones y los detalles necesarios para el correcto montaje e instalación del material,



incluyendo la resistencia a la fluencia de los miembros estructurales y el grado requerido para los bulones estructurales.

6.1.2 Los planos deben indicar las tolerancias para la correcta ubicación e instalación del material, como así también las fundaciones y anclajes.

6.1.2.1 Puesta a plomo – La distancia horizontal entre los ejes verticales en dos elevaciones cualesquiera no debe ser mayor que el 0,25 por ciento de la distancia vertical entre ambas elevaciones.

6.1.2.2 Torsión en el plano horizontal – La torsión horizontal (rotación angular en el plano horizontal) entre dos elevaciones cualesquiera no debe ser mayor que 0,5° en 10 ft [3 m] y la torsión horizontal total de la estructura no debe ser mayor que 5°.

6.1.2.3 Longitud – Para las estructuras tipo monoposte de acero con uniones telescópicas, conexiones soldadas a tope o con fuste embridado, la longitud total de la estructura ya montada debe estar a +1 por ciento ó -1/2 por ciento de la altura especificada.

(Nota: Los reflectores de bocina y otras antenas asimétricas o tipo "offset" tienen requisitos relacionados con la polarización, que es sensible al desplazamiento angular con respecto a la dirección de la visual. A fin de minimizar todos los factores que contribuyen a la oblicuidad o descentrado inicial, se debe prestar particular atención a su montaje, la ferretería usada para su fijación y los procedimientos de instalación, así como a la estructura de apoyo.)

6.1.3 A todos los miembros estructurales o conjuntos estructurales soldados, a excepción de la ferretería, se les debe asignar un número de pieza. Los números de las piezas deben coincidir con los planos de montaje. El número de pieza se debe fijar al miembro de manera permanente (estampado, letras soldadas, estampado sobre una placa soldada al miembro, etc.) antes de aplicar los recubrimientos protectores (galvanizado, pintura, etc.). Los caracteres del número de pieza deben tener una altura no menor que ½ in. [13 mm], ser legibles y claramente visibles por un inspector luego del montaje.

## **7 FUNDACIONES Y ANCLAJES**

### **7.1 Definiciones**

7.1.1 Fundaciones y anclajes estándares – Estructuras diseñadas para soportar las cargas especificadas definidas en la Sección 2 para condiciones de suelo normal según lo definido en 7.1.3. Las construcciones con pilotes, las instalaciones sobre cubiertas, las fundaciones o anclajes diseñados para condiciones de suelo sumergido, etc. no se deben considerar estándares.

7.1.2 Fundaciones y anclajes no estándares – Estructuras diseñadas para soportar las cargas especificadas definidas en la Sección 2 de acuerdo con las condiciones específicas del sitio de emplazamiento.

7.1.3 Suelo normal – Suelo cohesivo con una capacidad portante vertical admisible neta de 4000 libras por pie cuadrado [192 kPa] y una presión horizontal admisible neta de 400 libras por pie cuadrado por pie lineal de profundidad [63 kPa por metro lineal de profundidad] hasta un máximo de 4000 libras por pie cuadrado [192 kPa].

(Nota: La roca, los suelos no cohesivos, los suelos saturados o sumergidos no se deben considerar suelos normales.)

## 7.2 Norma

7.2.1 Las fundaciones y anclajes estándares se pueden usar a los fines del presupuesto y para la construcción cuando los parámetros reales del suelo son iguales o superiores a los parámetros del suelo normal.

7.2.2 Si para el diseño final se utilizan fundaciones y anclajes estándares, será responsabilidad del comprador verificar mediante un estudio geotécnico que los parámetros del suelo del sitio de emplazamiento son iguales o superiores a los parámetros del suelo normal. (Ver Anexo A.)

7.2.3 Las fundaciones y anclajes se deben diseñar para las máximas reacciones de la estructura que resulten de las cargas especificadas en la Sección 2 aplicando los siguientes criterios:

7.2.3.1 Si para la construcción se utilizarán fundaciones y anclajes estándares, para el diseño se deben usar los parámetros correspondientes al "suelo normal" de 7.1.3.

7.2.3.2 Cuando para la construcción se utilizarán fundaciones y anclajes no estándares, los parámetros del suelo recomendados por el ingeniero geotécnico deberían incorporar un factor de seguridad mínimo de 2,0 contra la resistencia última del suelo (ver Anexos A e I).

### 7.2.4 Subpresión

7.2.4.1 Se debe asumir que las fundaciones y anclajes estándares o los pilotes excavados y acampanados resisten la fuerza de levantamiento mediante sus pesos propios más el peso de todo el suelo encerrado dentro de un cono o pirámide invertida cuyos lados forman un ángulo de 30° respecto de la vertical. Si hay un aumento de sección en la parte inferior de la fundación la base del cono será la base de la fundación o, caso contrario, en ausencia del aumento de sección, la base del cono será la parte superior de la base de la fundación. Se asumirá que el suelo pesa 100 libras por pie cúbico [16 kN/m<sup>3</sup>] y el hormigón 150 libras por pie cúbico [24 kN/m<sup>3</sup>].

7.2.4.2 Los pilotes excavados de fuste recto para fundaciones estándares deben tener una fricción superficial última de 200 libras por pie cuadrado por pie lineal de profundidad [31 kPa por metro lineal de profundidad] hasta un máximo de 1000 libras por pie cuadrado de superficie de fuste [48 kPa] para resistencia al levantamiento o hundimiento.

7.2.4.3 Las fundaciones, anclajes y pilotes excavados se deben diseñar de acuerdo con las recomendaciones del informe geotécnico (ver Anexo I).

7.2.4.4 Las fundaciones, anclajes y pilotes excavados se deben diseñar de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(W_R / 2,0) + (W_C / 1,25) \geq U_P \quad \text{y} \quad (W_R + W_C) / 1,5 \geq U_P$$

donde:  $W_R$  = resistencia del suelo de 7.2.4.1, 7.2.4.2 ó 7.2.4.3

$W_C$  = peso de hormigón

$U_P$  = máxima reacción de levantamiento

7.2.4.4 Las losas o plateas de fundación de las estructuras autosoportadas deben tener un factor de seguridad mínimo contra el vuelco de 1,5.

7.2.5 La profundidad de las fundaciones excavadas sometidas a cargas laterales o de vuelco se debe dimensionar de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$L_D \geq 2,0 + S/(3d) + 2 [S^2/(18d^2) + S/2 + M/(3d)]^{1/2} \quad (\text{ft})$$

$$L_D \geq 0,61 + S/(143d) + 2 [S^2/(41333d^2) + S/96 + M/(143d)]^{1/2} \quad [\text{m}]$$

donde:

$L_D$  = Profundidad de la fundación excavada debajo del nivel del terreno (ft) [m]

$d$  = Diámetro de la fundación excavada (ft) [m]

$S$  = Reacción de corte a nivel del terreno (kips) [kN]

$M$  = Momento de vuelco a nivel del terreno (ft-kips) [m-kN]

Referencia: Broms, B., "*Design of Laterally Loaded Piles*", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Mayo de 1965.

### 7.3 Condiciones especiales

7.3.1 Cuando un apoyo ha de ser diseñado por una persona diferente al fabricante, el fabricante será responsable de proporcionar las reacciones, pesos y detalles de interfaz para que el ingeniero de la parte compradora proporcione la fijación necesaria.

7.3.2 En el diseño de las fundaciones no estándares se deben tomar en cuenta los efectos de la presencia de agua. Se deben considerar la reducción del peso de los materiales provocada por la subpresión y el efecto sobre las propiedades del suelo bajo condiciones sumergidas.

### 7.4 Planos de las fundaciones

7.4.1 Los planos de las fundaciones deben indicar las reacciones de la estructura, las resistencias de los materiales, las dimensiones, las armaduras y el tipo, tamaño y ubicación de los anclajes empotrados. Las fundaciones diseñadas para condiciones de suelo normal se deben señalar como tales.

(Nota: Los parámetros y métodos correspondientes al suelo normal se presentan para obtener diseños de fundaciones y anclajes estándares uniformes a los fines del presupuesto.)

## **8 FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS RIENDAS**

### 8.1 Definición

8.1.1 Conexión de una rienda – La conexión de una rienda se define como la ferretería o el mecanismo mediante el cual una longitud de cable de la rienda se conecta a la torre, aislador o anclaje. Las conexiones pueden incluir los siguientes elementos, aunque no están limitadas a los mismos: grilletes, aisladores en línea, manguitos, torniquetes, grapas de base doble, grapas para cable tipo perno U, herrajes para casquillos colados y conexiones tipo mordaza para los extremos muertos. Se considera que las grapas de base doble y tipo perno U usadas en cables de hasta 7/8 in. de diámetro tienen un factor máximo de eficiencia de 80 por ciento. Para determinar el factor de eficiencia de cualquier otro tipo de conexión para los extremos de una rienda se deben seguir las recomendaciones del fabricante.

8.1.2 Factor de seguridad de las riendas – El factor de seguridad de las riendas se debe calcular dividiendo la resistencia a la rotura publicada de la rienda o la resistencia de la conexión de la rienda, cualquiera sea el valor que resulte menor, por la máxima carga de tracción diseño calculada.

### 8.2 Norma

8.2.1 Para las estructuras de menos de 700 ft [213 m] de altura el factor de seguridad de las riendas y sus conexiones no debe ser menor que 2,0.

8.2.2 Para las estructuras de 1200 ft [366 m] de altura o mayores el factor de seguridad de las riendas y sus conexiones no debe ser menor que 2,5.

8.2.3 Para las estructuras comprendidas entre 700 ft [213 m] y 1200 ft [366 m] de altura el mínimo factor de seguridad de las riendas y sus conexiones se debe determinar interpolando linealmente entre 2,0 y 2,5.

(Nota: El incremento de 1/3 de la tensión para condiciones de carga de viento no se aplica a la resistencia a la rotura publicada de las riendas y sus conexiones.)

8.2.4 A los fines de la determinación del factor de seguridad requerido para todas las riendas y sus conexiones, la altura de la estructura se debe basar en la altura total de la estructura, incluyendo los postes tubulares o de celosía montados sobre la misma.

## **9 PRETENSADO Y CARGA DE PRUEBA DE LAS RIENDAS**

### 9.1 Definiciones

9.1.1 Pretensado de las riendas – Eliminación de la flojedad constructiva inherente de las riendas bajo una carga sostenida.

9.1.2 Carga de prueba – Verificación de la resistencia mecánica de las conexiones armadas en fábrica.

## 9.2 Norma

9.2.1 Generalmente el pretensado y la carga de prueba no son necesarios. Cuando estén especificados, el pretensado y la carga de prueba se deben realizar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de las riendas.

(Nota: Para estructuras arriadas de gran altura se debería considerar el pretensado y la carga de prueba.)

## 10 TENSION INICIAL DE LAS RIENDAS

### 10.1 Definición

10.1.1 Tensión inicial de una rienda – Tensión especificada de la rienda expresada en libras [newtons] bajo condiciones correspondientes a una carga de viento nula, en el anclaje de la rienda y a la temperatura especificada (ver 10.2).

### 10.2 Norma

10.2.1 A los fines del diseño, la tensión inicial de las riendas normalmente es el 10 por ciento de la resistencia a la rotura publicada del cable con límites superior e inferior de 15 y 8 por ciento respectivamente. Se pueden usar valores de tensión inicial no comprendidos dentro de estos límites, siempre que se haya considerado adecuadamente la sensibilidad de la estructura a las variaciones de la tensión inicial y, si fuera necesario, su comportamiento dinámico (ver nota a continuación). Se debe considerar el rango de temperatura ambiente del sitio de emplazamiento. En ausencia de datos específicos del sitio de emplazamiento, las tensiones iniciales se deben basar en una temperatura ambiente de 60°F.

(Nota: Los valores de 8-15 por ciento indicados para la tensión inicial se incluyen exclusivamente a título de guía recomendada. Es posible que las condiciones específicas del sitio de emplazamiento requieran valores de tensión inicial fuera de este rango. Si se usan valores de tensión inicial por encima del 15 por ciento se deberían considerar los posibles efectos de la vibración eólica. De manera similar, si se usan valores de tensión inicial por debajo del 8 por ciento se deberían considerar los efectos del "galope" y el "tira y afloje" provocado por los sucesivos tensados y destensados.)

### 10.3 Método de medición

10.3.1 La tensión inicial se puede medir por medio de la frecuencia de vibración, tensiómetros mecánicos, medición de la flecha de la rienda u otros medios adecuados. (Ver Anexo E.)

## 11 REQUISITOS OPERATIVOS

### 11.1 Definiciones

- 11.1.1 Torsión en el plano horizontal – 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 especificada.
- 11.1.2 Torsión en el plano vertical – Rotación angular del recorrido del haz de la antena en un plano vertical respecto a una posición correspondiente a carga sin viento en una elevación especificada.
- 11.1.3 Desplazamiento – Traslación horizontal de un punto respecto a la posición correspondiente a carga sin viento del mismo punto a una elevación especificada.

### 11.2 Norma (Ver Anexo A)

- 11.2.1 La norma mínima se debe basar en una condición correspondiente a cargas de hielo y viento nulas en base a una velocidad básica del viento de 50 mph [22,4 m/s] calculada de acuerdo con 2.3. Los requisitos operativos se deben basar en una degradación global admisible de 10 dB del nivel de la señal de frecuencia de radio.
- 11.2.2 A menos que se especifique lo contrario, los requisitos operativos para antenas de microondas / sistemas de reflectores se deben determinar usando los Anexos C y D.

## 12 PUESTA A TIERRA

### 12.1 Definiciones

- 12.1.1 Puesta a tierra – Medios para establecer una conexión eléctrica entre la estructura y la tierra, adecuada para descargas de rayos, de alto voltaje o estáticas.
- 12.1.2 Puesta a tierra primaria – Conexión conductora entre la estructura y la tierra o algún cuerpo conductor, que funciona como tierra.
- 12.1.3 Puesta a tierra secundaria – Conexión conductora entre un accesorio y la estructura.

(Nota: Los conductores a tierra no deben estar empotrados en la fundación.)

### 12.2 Norma

- 12.2.1 Las estructuras deben estar conectadas directamente a una puesta a tierra primaria.
- 12.2.2 Una puesta a tierra mínima debe estar compuesta por dos varillas a tierra de acero galvanizado de 5/8 in. [16 mm] de diámetro hincadas no menos de 8 ft [2,5 m] en el suelo, separadas 180°, adyacentes a la base de la estructura. Las varillas a tierra deben estar unidas al menos mediante un cobre desnudo estañado No. 6 [5 mm] conectado al montante más cercano

o a la base metálica de la estructura. En cada anclaje de rienda se debe instalar una varilla a tierra similar conectada a cada rienda en el anclaje.

12.2.3 Las torres autosoportadas de más de 5 ft [1,5 m] de ancho de base deben tener una varilla a tierra por cada montante, instaladas como se indicó en el párrafo precedente.

12.2.4 Todos los equipos instalados sobre una estructura deben estar conectados mediante una puesta a tierra secundaria.

12.2.5 Los reflectores pasivos remotos están exentos de los requisitos de puesta a tierra aquí especificados.

### **13 ACCESORIOS PARA ASCENSO E INSTALACIONES DE TRABAJO**

#### 13.1 Definiciones

13.1.1 Accesorios para ascenso – Componentes específicamente diseñados o instalados para permitir el acceso, tales como escaleras fijas, escalones fijados al fuste o miembros estructurales.

13.1.2 Dispositivos de seguridad para el ascenso – Dispositivos, exceptuando las jaulas, diseñados para minimizar las caídas accidentales, o para limitar la altura de las caídas. Los dispositivos permiten que la persona ascienda o descienda de la estructura sin tener que manipular continuamente el dispositivo ni alguna parte del mismo. Un dispositivo de seguridad para el ascenso habitualmente está compuesto por un harnés, mangas de seguridad y cinturones de seguridad.

13.1.3 Instalaciones de trabajo – Plataformas de trabajo y pasarelas de acceso.

13.1.4 Pasamanos o barandas de seguridad – Barreras horizontales que se instalan a lo largo de los laterales o extremos de las instalaciones de trabajo a fin de impedir las caídas.

#### 13.2 Norma

13.2.1 Si el comprador así lo especifica, se deben proveer accesorios para ascenso e instalaciones de trabajo, pasamanos o barandas de seguridad y dispositivos de seguridad para el ascenso. (Ver Anexo A.)

13.2.2 Los accesorios para ascenso se deben diseñar para soportar una sobrecarga concentrada mínima de 250 libras [1,1 kN].

13.2.2.1 Si como accesorios para ascenso se especifican escaleras fijas, éstas deben satisfacer los siguientes requisitos mínimos:

- a. Separación de las barandas laterales – ancho libre mínimo de 12 in. [300 mm].
- b. Separación de los peldaños – separación mínima entre centros de 12 in. [300 mm]; separación máxima entre centros de 16 in. [410 mm].

c. Diámetro de los peldaños – 5/8 in. [16 mm] mínimo.

13.2.2.2 Si se especifican escalones fijados al fuste, éstos deben satisfacer los siguientes requisitos:

a. Ancho libre – 4½ in. [110 mm] mínimo.

b. Separación – separación mínima entre centros de 12 in. [300 mm], separados de manera alternada, separación máxima de 18 in. [460 mm].

c. Diámetro – 5/8 in. [16 mm] mínimo.

13.2.3 Los dispositivos de seguridad para el ascenso deben satisfacer los requisitos de diseño del American National Standards Institute (ANSI) A14.3-1984, "*Safety Requirements for Fixed Ladders*", Sección 7.

13.2.4 Las estructuras portantes de las instalaciones de trabajo se deben diseñar para soportar una sobrecarga uniforme de 25 lb/ft<sup>2</sup> [1,2 kPa], pero en ningún caso la estructura portante se podrá diseñar para una sobrecarga total menor que 500 libras [2,2 kN]. Las superficies de trabajo, tales como parrillas o enrejados, se deben diseñar para soportar dos cargas de 250 libras [1,1 kN]. Estas cargas no se deben aplicar simultáneamente con las cargas de viento y hielo.

13.2.5 Los pasamanos o barandas de seguridad se deben diseñar para soportar una sobrecarga concentrada mínima de 150 libras [0,67 kN], aplicada en cualquier dirección.

(Nota: La intención de 13.2 es proporcionar requisitos mínimos para estructuras nuevas. No es su intención reemplazar a los códigos o leyes aplicables.)

## 14 MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN

### 14.1 Norma

14.1.1 El propietario debería llevar a cabo el mantenimiento y la inspección de las torres y estructuras de acero para antenas de manera rutinaria.

(Nota 1: Se recomienda inspeccionar todas las estructuras luego de una tormenta severa de viento y/o hielo u otras condiciones extremas de carga.)

(Nota 2: En el Anexo E se incluyen procedimientos recomendados para la inspección y mantenimiento de las torres.)

## 15 ANÁLISIS DE TORRES Y ESTRUCTURAS EXISTENTES

### 15.1 Norma

15.1.1 Las torres para antenas y otras estructuras que soportan antenas se deben analizar cada vez que se modifica su diseño original o las condiciones de carga operativas. En el Anexo F se presentan criterios recomendados para el análisis de estructuras existentes.





LOWNDES		75	FAIRBANKS		
MACON		70	VALDEZ-CORDOVA		90
MADISON		70	WADE HAMPTON		110
			WRANGELL-		90
			PETERSBURG		
MARENGO		75	YUKON-KOYUKUK		90
MARION		70	Precaución: Las regiones montañosas de Alaska se deben considerar como regiones con características de viento especiales.		
MARSHALL		70			
MOBILE	2	95			
.....					

<u>Estado de WISCONSIN</u>			<u>Estado de WISCONSIN</u>		
<u>CONDADO</u>	<u>NOTA *</u>	<u>VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO (MPH)</u>	<u>CONDADO</u>	<u>NOTA *</u>	<u>VELOCIDAD BASICA DEL VIENTO (MPH)</u>
SAUK		85	ALBANY		90
SAWYER		75	BIG HORN	1	85
SHAWANO		90	CAMPBELL		85
SHEBOYGAN	1	85	CARBON		85
TAYLOR		80	CONVERSE		90
TREMPEALEAU		80	CROOK		80
VERNON		85	FREMONT	1	85
VILAS		80	GOSHEN		85
WALWORTH		80	HOT SPRINGS		85
WASHBURN		75	JOHNSON	1	90
WASHINGTON	1	80	LARAMIE		85
WAUKESHA	1	80	LINCOLN		75
WAUPACA		90	NATROTA		90
WAUSHARA		90	PARK	1	80
WINNEBAGO		90	PLATTE		90
WOOD		90	SHERIDAN	1	85
			SUBLETTE	1	80
			SWEETWATER		80
			TETON	1	75
			UINTA		75
			WASHAKIE	1	85
			WESTON		80

## Referencias:

1. ASCE, "*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*", ASCE 7-88, American Society of Civil Engineers, New York, NY, 1988.
2. MBMA, "*Low Rise Building Systems Manual*", Metal Building Manufacturers Association, Inc., Cleveland, Ohio, 1986.
3. UBC, "*Uniform Building Code*", International Conference of Building Officials, Whittier, CA, 1988.

Notas:

1. El sitio de emplazamiento puede estar ubicado dentro de una de las regiones con características de viento especiales indicadas en el mapa de vientos de ASCE 7-88. Consultar con las autoridades locales antes de especificar la velocidad básica del viento.
2. El condado está a menos de 100 millas de una línea oceánica de huracanes. Los valores tabulados de la velocidad básica del viento han sido ajustados de acuerdo con ASCE 7-88 para obtener intervalos de recurrencia de 50 años.
3. Para sitios de emplazamiento que no están designados como condados, usar la velocidad básica del viento del condado más próximo.
4. Las velocidades del viento listadas en la Sección 16 son velocidades máximas del viento en una milla ("fastest-mile"). Para poder usarlas junto con esta norma, las velocidades de ráfagas de 3 segundos como las especificadas en ASCE 7-95 y las velocidades promediadas para otros intervalos de tiempo se deben convertir a velocidades máximas del viento en una milla. (Ver Anexo A, Sección 2 .3.3.)

## ANEXO A: LISTA DE VERIFICACIÓN PARA EL COMPRADOR

La intención de las normas EIA/TIA-222 es fijar criterios mínimos para el diseño, fabricación y construcción de las estructuras que soportan antenas. Es responsabilidad del comprador proveer los datos y requisitos específicos del sitio de emplazamiento que difieren de aquellos contenidos en estas normas. El objetivo de la siguiente lista de verificación es alertar al comprador sobre las áreas en las cuales habitualmente se requieren datos específicos.

Sección de  
referencia

Lista de verificación para el comprador

- 2.1.3 A. Es responsabilidad del comprador verificar que las cargas de viento y criterios especificados satisfagan los requisitos del código de construcción local. Si se requieren otros criterios de carga, éstos se le deberán proveer al diseñador.
- B. Esta norma se basa en un método de diseño por tensiones admisibles (ASD). Por lo tanto, no es apropiado emplear términos o frases cuyo significado e intención sean ambiguos, tales como "supervivencia", "ser capaces de soportar", etc.
- C. La práctica de dividir la presión de viento calculada por un factor se considera inconsistente con esta norma. En 2.1.3.1 se presenta la definición correcta de velocidad básica del viento.
- 2.3.1.2 A. Es responsabilidad del comprador especificar las cargas de hielo apropiadas para aquellas ubicaciones en las cuales se sabe que ocurre acumulación de hielo.
- B. Debido a que la acumulación de hielo puede variar considerablemente dentro de una área geográfica dada, la norma no especifica requisitos de carga de hielo.
- C. En aquellas ubicaciones en las cuales se sabe que ocurre acumulación de hielo se recomienda especificar como mínimo ½ in. [12,7 mm] de hielo radial macizo.
- 2.3.3 A. A los fines del presupuesto se recomienda que el comprador especifique la velocidad básica del viento (V) de manera obtener diseños basados en criterios idénticos. Las velocidades del viento a emplear con la norma deben ser velocidades máximas del viento en una milla a 33 ft [10 m] de altura sobre el nivel del terreno.
- B. La velocidad básica del viento de la Sección 16, las ecuaciones para el coeficiente de exposición ( $K_Z$ ) y el factor de ráfaga ( $G_H$ ) se basan en condiciones de viento en terrenos abiertos y planos y praderas.
- C. Con las ecuaciones especificadas para  $K_Z$  y  $G_H$  se obtienen cargas de viento de diseño conservadoras para zonas urbanas y boscosas.
- D. Es responsabilidad del comprador especificar velocidades básicas del viento y ecuaciones adecuadas para  $K_Z$  y  $G_H$  en regiones de huracanes, regiones montañosas y zonas costeras, en las regiones con características de viento especiales indicadas en la Sección 16 y en aquellos casos en que las condiciones locales exijan consideraciones especiales.
- E. Si la estructura se ha de montar sobre otra estructura o sobre una colina o terreno escarpado, el comprador debe identificar la elevación de la base por encima del nivel medio del terreno.
- F. El comprador debe identificar las elevaciones relativas de los anclajes de las riendas con respecto a la base de la estructura e identificar los radios máximos y mínimos de

las riendas.

- G. Las velocidades básicas del viento de la Sección 16 corresponden a una probabilidad anual de 0,02 (intervalo de recurrencia de 50 años). Si el comprador requiere otra probabilidad, éste deberá proporcionar al diseñador dicha velocidad básica del viento.

- 2.3.16
  - A. Debido a la baja probabilidad de que una carga de hielo extrema se produzca simultáneamente con una carga de viento extrema, la carga de viento se reduce un 25 por ciento cuando se considera que ocurre simultáneamente con la carga de hielo (equivalente al 87 por ciento de la velocidad básica del viento).
  - B. Para velocidades del viento basadas en un intervalo de recurrencia de 50 años (probabilidad anual de 0,02), la carga de viento reducida corresponde aproximadamente a un intervalo de recurrencia de 5 años.
  - C. Es responsabilidad del comprador especificar otras combinaciones críticas de cargas de viento y hielo para ubicaciones en las cuales se sabe que ocurren condiciones más severas.
  
- 5.1.1
  - A. El método preferido de control de la corrosión es el galvanizado. Sólo se pueden utilizar métodos alternativos de control de la corrosión, tales como pintura epoxi, pintura al látex clorada, estañado, electrogalvanizado, etc., cuando el comprador así lo especifique.
  - B. Cuando los requiera, el comprador debe especificar los requisitos sobre sistemas adicionales de control de la corrosión. (En el Anexo J se presentan opciones para el control de la corrosión de anclajes para riendas en contacto directo con el suelo.)
  
- 7.2.2
  - A. Cuando para un diseño final se utilicen fundaciones y anclajes estándares, es responsabilidad del comprador verificar por medio de estudios geotécnicos que los parámetros reales del suelo sean iguales o superiores a los parámetros del suelo normal. Si para la construcción el comprador acepta una fundación para suelo normal, dicho comprador acepta la responsabilidad por la adecuabilidad de las condiciones del suelo subsuperficial.
  - B. Es responsabilidad del comprador verificar que las profundidades de las fundaciones estándares sean adecuadas en base a la penetración de las heladas y/o la variación estacional de la humedad.
  
- 7.2.3.2
  - A. El ingeniero geotécnico debe estar informado sobre los requisitos de esta sección.
  
- 11.2
  - A. Cuando las normas mínimas no sean aplicables el comprador debe especificar los requisitos operativos.
  
- 12.2
  - A. Si las condiciones son tales que la norma mínima no es adecuada el comprador debe especificar otros requisitos de puesta a tierra.
  
- 13.2.1
  - A. El comprador debe especificar los requisitos sobre accesorios para ascenso e instalaciones de trabajo, pasamanos o barandas de seguridad y dispositivos de seguridad para el ascenso.
  
- 16
  - A. Se advierte al comprador que las velocidades básicas del viento listadas en la Sección

16 son valores *mínimos*. En algunas ubicaciones las condiciones extremas de viento son más severas que los valores listados. Las características topográficas, tales como terreno no accidentado, barrancas, cañadas, cimas de montañas, y las direcciones predominantes del viento pueden aumentar significativamente las velocidades del viento. Se recomienda al comprador consultar fuentes de información local tales como el Servicio Meteorológico, oficinas meteorológicas locales, propietarios de torres existentes en el mismo predio o en predios cercanos, vecinos y consultores en meteorología.



## ANEXO B: CARGAS DE VIENTO DE DISEÑO PARA ANTENAS DE MICROONDAS / REFLECTORES TÍPICOS

Este Anexo contiene datos para el cálculo de la carga de viento de diseño para antenas de microondas y reflectores típicos.

(Nota: Los valores de las cargas 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 en este anexo 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 al eje de la antena en el plano que contiene el eje de la antena y el vector del viento. El momento torsor ( $M$ ) actúa en el plano que contiene  $F_A$  y  $F_S$ . (Ver Figuras B1, B2 y B3.)

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 del viento. El momento torsor ( $M$ ) actúa en el plano que contiene  $F_A$  y  $F_S$ . (Ver Figura B4.)

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 del viento. El momento torsor ( $M$ ) actúa en el plano que contiene  $F_A$  y  $F_S$ . (Ver Figura B5.)

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 de  $F_A$ ,  $F_S$  y  $M$  se deben calcular a partir de las siguientes ecuaciones:

$$F_A = C_A A K_Z G_H V^2 \text{ (lb)} \quad F_S = C_S A K_Z G_H V^2 \text{ (lb)} \quad M = C_M A D K_Z G_H V^2 \text{ (ft-lb)}$$

Donde:

$C_A$ ,  $C_S$  y  $M$  = Coeficientes listados en las Tablas B1 a B6 en función del ángulo del viento  $\Theta$ .

$G_H$  = Factor de ráfaga de 2.3.4

$A$  = Área de la abertura externa ( $\text{ft}^2$ ) de una antena de reflector parabólico, de rejilla o de bocina

= Área de la placa ( $\text{ft}^2$ ) de un reflector pasivo

$D$  = Diámetro externo (ft) de una antena de reflector parabólico, de rejilla o de bocina

= Ancho o longitud (ft) de un reflector pasivo (ver Figura B5)

$V$  = Velocidad básica del viento (mph) de 2.3.3

$K_Z$  = Coeficiente de exposición de 2.3.3, para  $z$  igual a la altura del origen del sistema de ejes coordenados



$\Theta$  = Ángulo del viento (grados); en las Figuras B1 a B5 se indican las convenciones de signo positivo

(Nota: Los coeficientes de las Tablas B1 a B5 se presentan en el sistema convencional de unidades. Si se desea utilizar unidades del SI los resultados de las ecuaciones anteriores se pueden convertir usando los factores de conversión del Anexo G.)

**Tabla B1. Coeficientes para calcular la fuerza de viento en paraboloides típicas sin radomo**

ÀNGULO DEL VIENTO $\Theta$ (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
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	-0,000256
290	0,00350	-0,00117	0,000020
300	0,00422	-0,00062	0,000223
310	0,00426	-0,00023	0,000177
320	0,00408	-0,00002	0,000137
330	0,00398	0,00008	0,000108
340	0,00396	0,00013	0,000097
350	0,00394	0,00012	0,000065

Tabla B2. Coeficientes para calcular la fuerza de viento en paraboloides típicas con radomo

ÁNGULO DEL VIENTO $\Theta$ (GRADOS)	$C_A$	$C_S$	$C_M$
0	0,00221	0,00000	0,00000
10	0,00220	0,00038	-0,000204
20	0,00210	0,00076	-0,000285
30	0,00195	0,00105	-0,000277
40	0,00170	0,00125	-0,000205
50	0,00140	0,00136	-0,000114
60	0,00107	0,00128	-0,000002
70	0,00080	0,00118	0,000130
80	0,00058	0,00112	0,000268
90	0,00034	0,00104	0,000390
100	0,00008	0,00100	0,000434
110	-0,00017	0,00095	0,000422
120	-0,00042	0,00089	0,000404
130	-0,00075	0,00082	0,000357
140	-0,00105	0,00078	0,000232
150	-0,00133	0,00070	0,000132
160	-0,00154	0,00058	0,000063
170	-0,00168	0,00038	0,000022
180	-0,00177	0,00000	0,000000
190	-0,00168	-0,00038	-0,000022
200	-0,00154	-0,00058	-0,000063
210	-0,00133	-0,00070	-0,000132
220	-0,00105	-0,00078	-0,000232
230	-0,00075	-0,00082	-0,000357
240	-0,00042	-0,00089	-0,000404
250	-0,00017	-0,00095	-0,000422
260	-0,00008	-0,00100	-0,000434
270	0,00034	-0,00104	-0,000390
280	0,00058	-0,00112	-0,000268
290	0,00080	-0,00118	-0,000130
300	0,00107	-0,00128	0,000002
310	0,00140	-0,00136	0,000114
320	0,00170	-0,00125	0,000205
330	0,00195	-0,00105	0,000277
340	0,00210	-0,00076	0,000285
350	0,00220	-0,00038	0,000204

**Tabla B3. Coeficientes para calcular la fuerza de viento en paraboloides típicas con protector cilíndrico**

ÁNGULO DEL VIENTO $\Theta$ (GRADOS)	$C_A$	$C_S$	$C_M$
0	0,00323	0,00000	0,000000
10	0,00323	0,00025	-0,000072
20	0,00320	0,00045	-0,000116
30	0,00310	0,00060	-0,000133
40	0,00296	0,00072	-0,000125
50	0,00278	0,00078	-0,000083
60	0,00242	0,00094	-0,000022
70	0,00172	0,00122	-0,000058
80	0,00070	0,00149	-0,000178
90	-0,00028	0,00160	0,000251
100	-0,00088	0,00154	0,000288
110	-0,00138	0,00136	0,000292
120	-0,00182	0,00112	0,000266
130	-0,00220	0,00080	0,000237
140	-0,00239	0,00059	0,000199
150	-0,00245	0,00045	0,000158
160	-0,00249	0,000380	0,000112
170	-0,00255	0,00025	0,000059
180	-0,00260	0,00000	0,000000
190	-0,00255	-0,00025	-0,000059
200	-0,00249	-0,00038	-0,000112
210	-0,00245	-0,00045	-0,000158
220	-0,00239	-0,00059	-0,000199
230	-0,00220	-0,00080	-0,000237
240	-0,00182	-0,00112	-0,000266
250	-0,00138	-0,00136	-0,000292
260	-0,00088	-0,00154	-0,000288
270	-0,00028	-0,00160	-0,000251
280	0,00070	-0,00149	-0,000178
290	0,00172	-0,00122	-0,000058
300	0,00242	-0,00094	0,000022
310	0,00278	-0,00078	0,000083
320	0,00296	-0,00072	0,000125
330	0,00310	-0,00060	0,000133
340	0,00320	-0,00045	0,000116
350	0,00323	-0,00025	0,000072

**Tabla B4. Coeficientes para calcular la fuerza de viento en antenas de rejilla típicas sin hielo**

ÁNGULO DEL VIENTO $\Theta$ (GRADOS)	$C_A$	$C_S$	$C_M$
0	0,00137	0,00000	0,000000
10	0,00134	0,00026	0,000043
20	0,00130	0,00046	0,000074
30	0,00118	0,00059	0,000098
40	0,00104	0,00067	0,000115
50	0,00088	0,00070	0,000127
60	0,00060	0,00072	0,000135
70	0,00033	0,00070	0,000142
80	0,00010	0,00064	0,000126
90	-0,00013	0,00062	0,000111
100	-0,00030	-0,00070	0,000120
110	-0,00048	0,00073	0,000129
120	-0,00068	0,00071	0,000131
130	-0,00086	0,00067	0,000127
140	-0,00104	0,00060	0,000114
150	-0,00122	0,00052	0,000095
160	-0,00140	0,00040	0,000070
170	0,00150	0,00022	0,000038
180	-0,00152	0,00000	0,000000
190	-0,00150	-0,00022	-0,000038
200	-0,00140	-0,00040	-0,000070
210	-0,00122	-0,00052	-0,000095
220	-0,00104	-0,00060	-0,000114
230	-0,00086	-0,00067	-0,000127
240	-0,00068	-0,00071	-0,000131
250	-0,00048	-0,00073	-0,000129
260	-0,00030	-0,00070	-0,000120
270	-0,00013	-0,00062	-0,000111
280	0,00010	-0,00064	-0,000126
290	0,00033	-0,00070	-0,000142
300	0,00060	-0,00072	-0,000135
310	0,00088	-0,00070	-0,000127
320	0,00104	-0,00067	-0,000115
330	0,00118	-0,00059	-0,000098
340	0,00130	-0,00046	-0,000074
350	0,00134	-0,00026	-0,000043

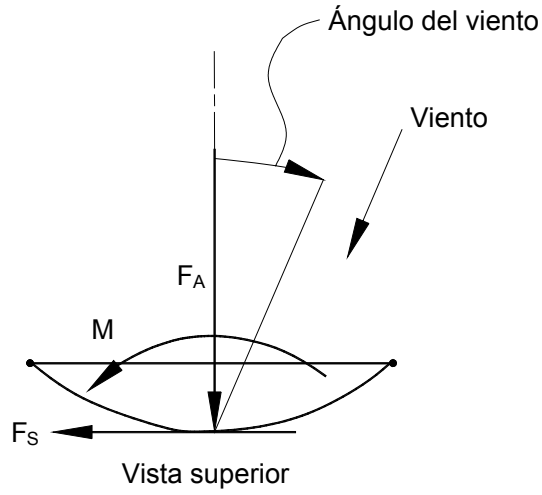
Nota: En ausencia de información más precisa, para las antenas de rejilla con hielo usar los coeficientes para calcular la fuerza de viento en paraboloides típicas sin radomo de la Tabla B1.

**Tabla B5. Coeficientes para calcular la fuerza de viento en antenas de reflector de bocina cónica típicas**

ÁNGULO DEL VIENTO $\Theta$ (GRADOS)	$C_A$	$C_S$	$C_M$
0	0,00338	0,00000	0,00000
10	0,00355	0,00004	-0,00005
20	0,00354	0,00025	-0,00007
30	0,00345	0,00077	-0,00001
40	0,00335	0,00142	0,00009
50	0,00299	0,00181	0,00023
60	0,00235	0,00208	0,00035
70	0,00154	0,00237	0,00044
80	0,00059	0,00248	0,00046
90	-0,00020	0,00245	0,00040
100	-0,00062	0,00240	0,00032
110	-0,00088	0,00235	0,00030
120	-0,00147	0,00225	0,00032
130	-0,00225	0,00201	0,00027
140	-0,00289	0,00167	0,00021
150	-0,00323	0,00113	0,00014
160	-0,00367	0,00052	0,00007
170	-0,00375	0,00010	0,00003
180	-0,00356	0,00000	0,00000
190	-0,00375	-0,00010	-0,00003
200	-0,00367	-0,00052	-0,00007
210	-0,00323	-0,00113	-0,00014
220	-0,00289	-0,00167	-0,00021
230	-0,00225	-0,00201	-0,00027
240	-0,00147	-0,00225	-0,00032
250	-0,00088	-0,00235	-0,00030
260	-0,00062	-0,00240	-0,00032
270	-0,00020	-0,00245	-0,00040
280	0,00059	-0,00248	-0,00046
290	0,00154	-0,00237	-0,00044
300	0,00235	-0,00208	-0,00035
310	0,00299	-0,00181	-0,00023
320	0,00335	-0,00142	-0,00009
330	0,0345	-0,00077	0,00001
340	0,00354	-0,00025	0,00007
350	0,00335	-0,00004	0,00005

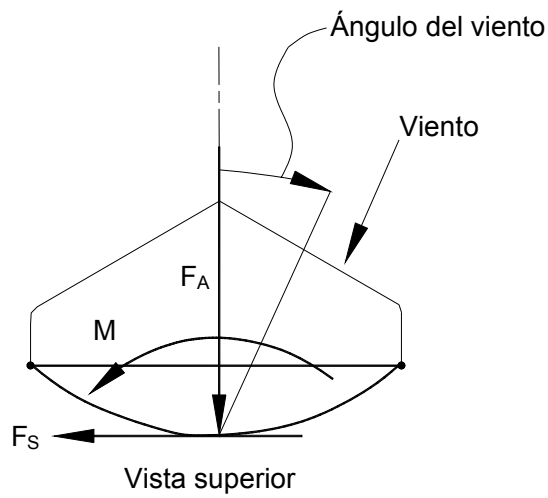
**Tabla B6. Coeficientes para calcular la fuerza de viento en reflectores pasivos típicos**

ÁNGULO DEL VIENTO $\Theta$ (GRADOS)	$C_A$	$C_S$	$C_M$
0	0,00351	0,00000	0,000000
10	0,00348	0,00003	-0,000077
20	0,00341	0,00008	-0,000134
30	0,00329	0,00010	-0,000180
40	0,00309	0,00013	-0,000198
50	0,00300	0,00018	-0,000208
60	0,00282	0,00021	-0,000262
70	0,00178	0,00023	-0,000225
80	0,00071	0,00027	-0,000129
90	-0,00010	0,00030	0,000030
100	-0,00108	0,00035	0,000180
110	-0,00235	0,00039	0,000225
120	-0,00348	0,00036	0,000210
130	-0,00348	0,00029	0,000148
140	-0,00360	0,00023	0,000126
150	-0,00376	0,00019	0,000109
160	-0,00390	0,00012	0,000080
170	-0,00400	0,00008	0,000042
180	-0,00403	0,00000	0,000000
190	-0,00400	-0,00008	-0,000042
200	-0,00390	-0,00012	-0,000080
210	-0,00376	-0,00019	-0,000109
220	-0,00360	-0,00023	-0,000126
230	-0,00348	-0,00029	-0,000148
240	-0,00348	-0,00036	-0,000210
250	-0,00235	-0,00039	-0,000225
260	-0,00108	-0,00035	-0,000180
270	-0,00010	-0,00030	-0,000030
280	0,00071	-0,00027	0,000129
290	0,00178	-0,00023	0,000225
300	0,00282	-0,00021	0,000262
310	0,00300	-0,00018	0,000208
320	0,00309	-0,00013	0,000198
330	0,00329	-0,00010	0,000180
340	0,00341	-0,00008	0,000134
350	0,00348	-0,00003	0,000077



Convención de signos positivos

Figura B1. Fuerzas de viento en paraboloides y rejillas



Convención de signos positivos

Figura B2. Fuerzas de viento en paraboloides con radomos



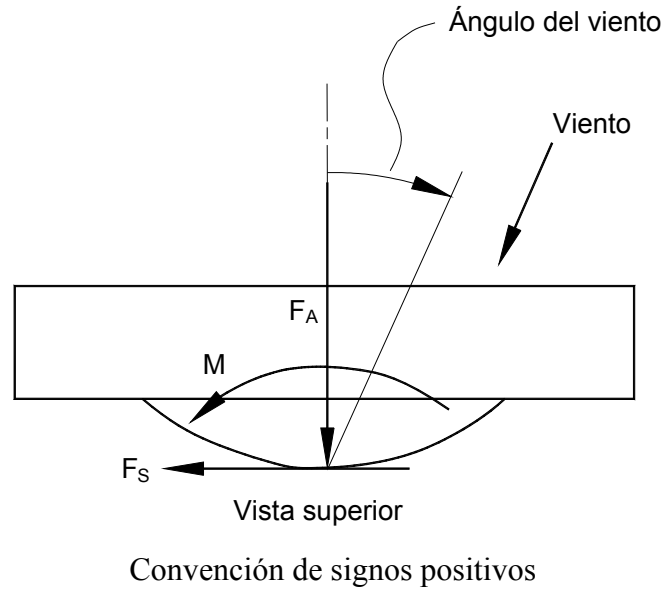


Figura B3. Fuerzas de viento en paraboloides con protectores cilíndricos

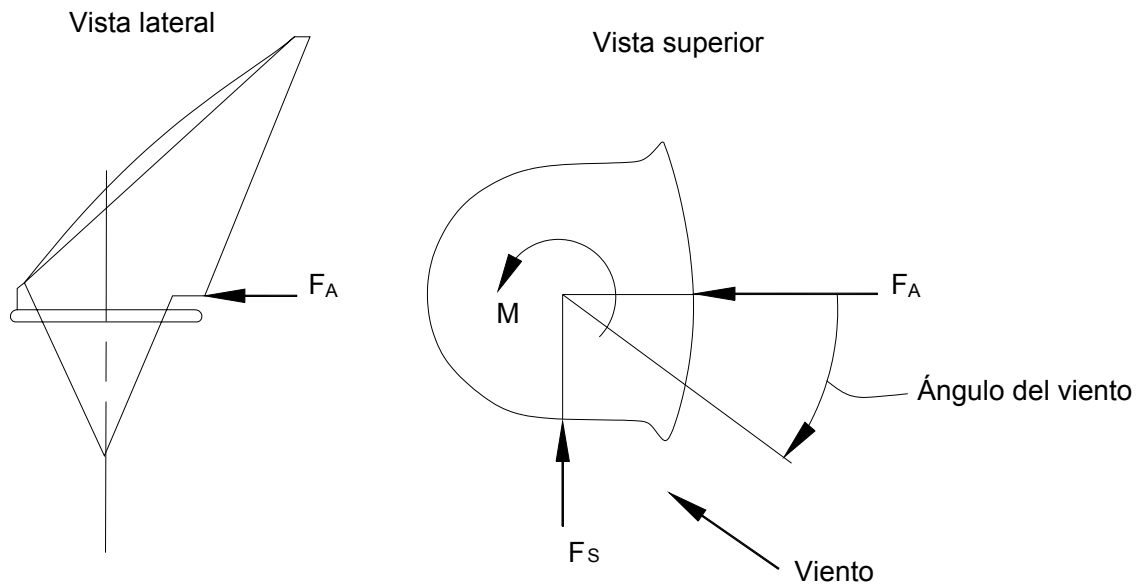
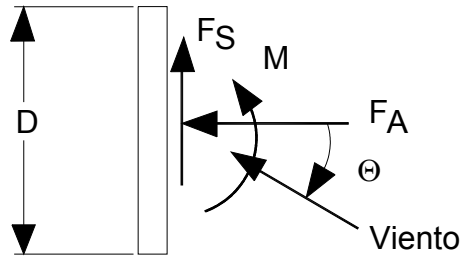


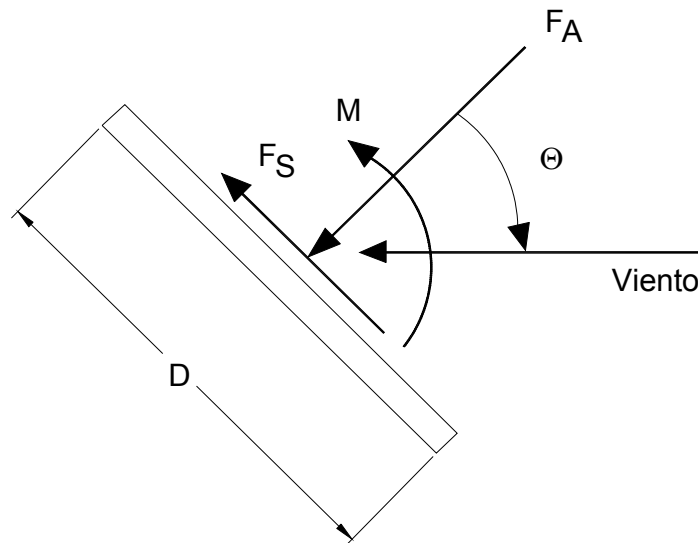
Figura B4. Fuerzas de viento en antenas de reflector de bocina cónica



(VISTA SUPERIOR)

$\Theta$  = Ángulo horizontal del viento  
 D = Ancho del reflector

(A) PLACA VERTICAL



(VISTA LATERAL)

$\Theta$  = Ángulo vertical de la placa  
 D = Longitud del reflector  
 (Ángulo horizontal del viento = sólo 0 ó 180 grados)

(B) PLACA INCLINADA

B5. Fuerzas del viento en reflectores pasivos de placa plana



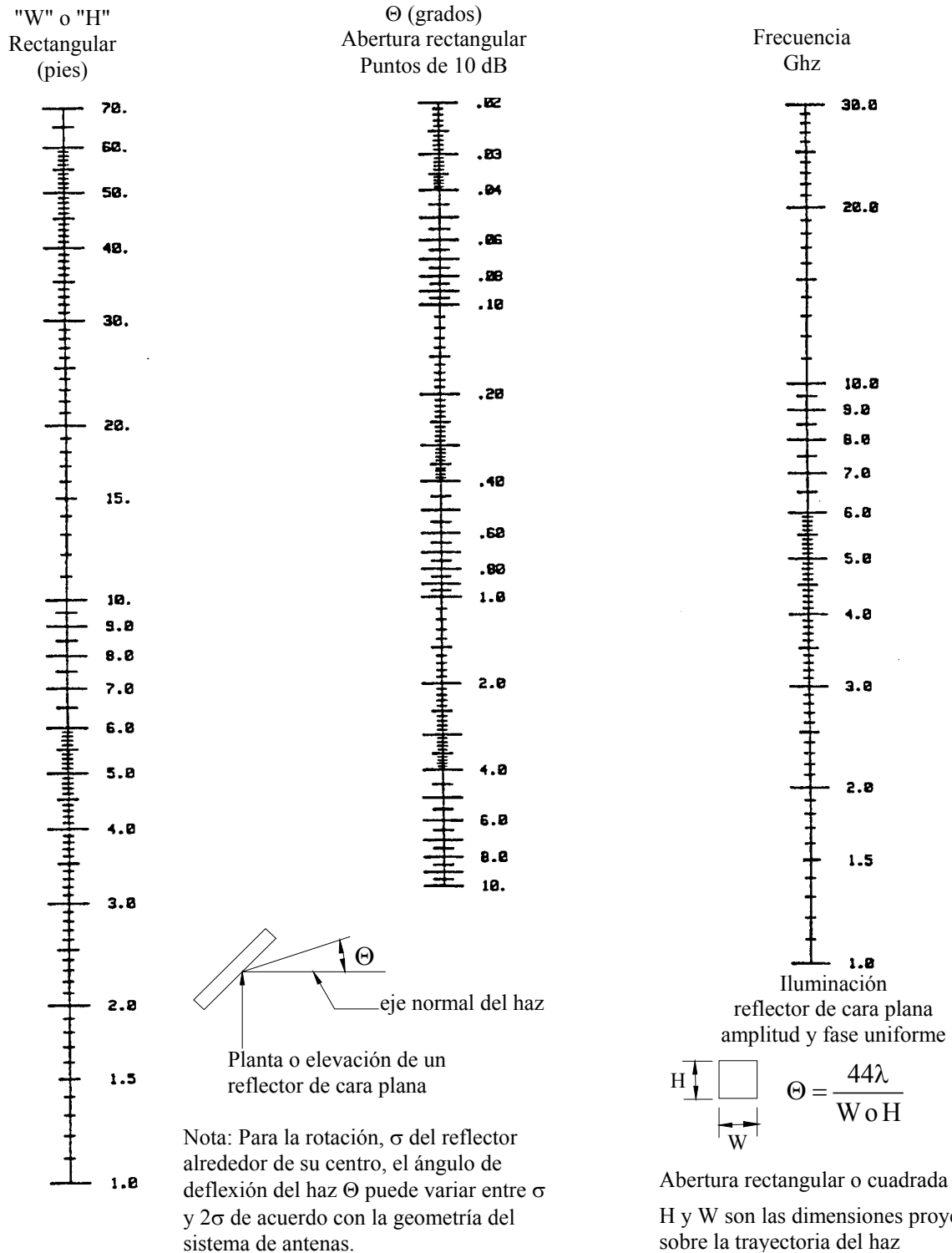
**ANEXO C: TABLA DE VALORES ADMISIBLES DE TORSIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA ANTENAS PARABÓLICAS, REFLECTORES PASIVOS Y REFLECTORES DE SISTEMA PERISCÓPICO**

A	B	C		D	E		F	G	H	I
		Antenas parabólicas			Reflectores pasivos			Reflectores de sistema periscópico		
Ancho de haz a 3 dB 2 $\Theta$ sólo para antena Nota 8	Ángulo de deflexión en puntos de 10 dB Nota 1 Nota 7	Límite de movimiento de la antena respecto de la estructura	Límite de movimiento de la estructura Torsión horizontal o vertical en punto de fijación de la antena	Límite de torsión vertical del reflector pasivo Nota 4 Nota 5	Límite de torsión horizontal del reflector pasivo Nota 4	Límite de movimiento del reflector respecto de la estructura	Límite de torsión horizontal de la estructura en punto de fijación del reflector	Límite de torsión vertical de la estructura en punto de fijación del reflector		
GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS
5,8	5,0	0,4	4,6	3,5	2,5	0,2	4,8	2,3		
5,6	4,8	0,4	4,4	3,3	2,4	0,2	4,6	2,2		
5,4	4,6	0,4	4,2	3,2	2,3	0,2	4,4	2,1		
5,1	4,4	0,4	4,0	3,0	2,2	0,2	4,2	2,0		
4,9	4,2	0,4	3,8	2,9	2,1	0,2	4,0	1,9		
4,7	4,0	0,3	3,7	2,8	2,0	0,2	3,8	1,8		
4,4	3,8	0,3	3,5	2,6	1,9	0,2	3,6	1,7		
4,2	3,6	0,3	3,3	2,5	1,8	0,2	3,4	1,6		
4,0	3,4	0,3	3,1	2,3	1,7	0,2	3,2	1,5		
3,7	3,2	0,3	2,9	2,2	1,6	0,2	3,0	1,4		
3,5	3,0	0,3	2,7	2,1	1,5	0,2	2,8	1,4		
3,4	2,9	0,2	2,7	2,0	1,45	0,1	2,8	1,3		
3,3	2,8	0,2	2,6	1,9	1,4	0,1	2,7	1,3		
3,1	2,7	0,2	2,5	1,8	1,35	0,1	2,6	1,25		
3,0	2,6	0,2	2,4	1,8	1,3	0,1	2,5	1,2		
2,9	2,5	0,2	2,3	1,7	1,25	0,1	2,4	1,15		
2,8	2,4	0,2	2,2	1,6	1,2	0,1	2,3	1,1		
2,7	2,3	0,2	2,1	1,6	1,15	0,1	2,2	1,05		
2,6	2,2	0,2	2,0	1,5	1,1	0,1	2,1	0,1		
2,5	2,1	0,2	1,9	1,4	1,05	0,1	2,0	0,95		
2,3	2,0	0,2	1,8	1,4	1,0	0,1	1,9	0,9		
2,2	1,9	0,2	1,7	1,3	0,95	0,1	1,8	0,85		
2,1	1,8	0,2	1,6	1,2	0,9	0,1	1,7	0,8		
2,0	1,7	0,2	1,5	1,1	0,85	0,1	1,6	0,75		
1,9	1,6	0,2	1,4	1,1	0,8	0,1	1,5	0,7		
1,7	1,5	0,2	1,3	1,0	0,75	0,1	1,4	0,65		
1,6	1,4	0,2	1,2	0,9	0,7	0,1	1,3	0,6		
1,5	1,3	0,1	1,2	0,9	0,65	0,1	1,2	0,55		
1,4	1,2	0,1	1,1	0,8	0,6	0,1	1,1	0,5		
1,3	1,1	0,1	1,0	0,7	0,55	0,1	1,0	0,45		
1,2	1,0	0,1	0,9	0,7	0,5	0,1	0,9	0,4		
1,1	0,9	0,1	0,8	0,6	0,45	0,1	0,8	0,35		
0,9	0,8	0,1	0,7	0,5	0,4	0,1	0,7	0,3		
0,8	0,7	0,1	0,6	0,4	0,35	0,1	0,6	0,25		
0,7	0,6	0,1	0,5	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2		
0,6	0,5	0,1	0,4	0,3	0,25	0,1	0,4	0,15		
0,5	0,4	0,1	0,3	0,2	0,2	0,07	0,3	0,13		
0,3	0,3	0,05	0,25	0,2	0,15	0,05	0,25	0,10		
0,2	0,2			0,14	0,1					
0,1	0,1			0,07	0,05					
							Sólo para configuraciones en las cuales la antena está directamente debajo del reflector.			

NOTA: Ver notas en página siguiente.

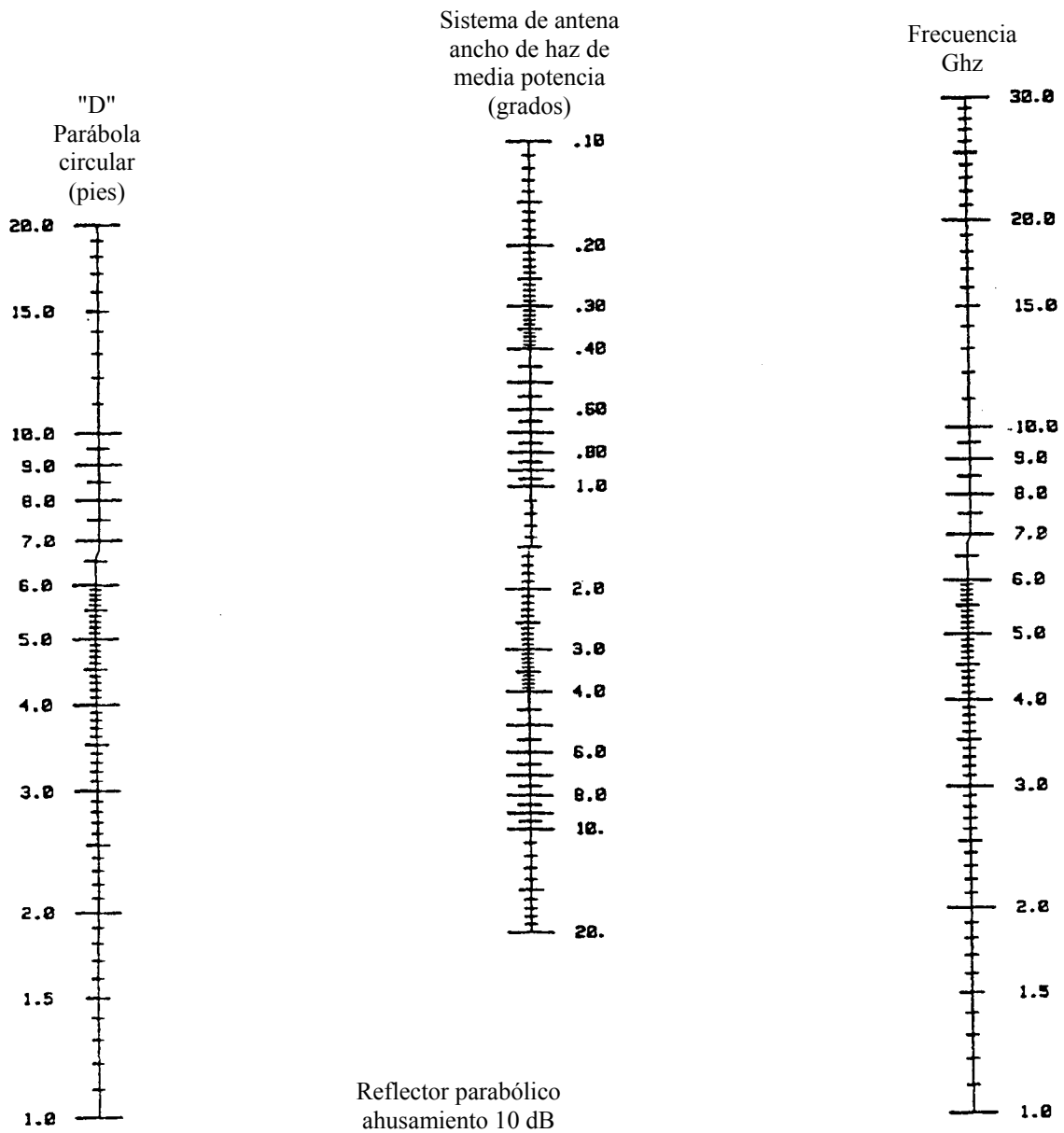
**Notas:**

1. Si los valores para las columnas "A" y "B" no están disponibles del fabricante de las antenas o del usuario del sistema de antenas, estos valores se deben obtener de las Figuras C1, C2 ó C3.
2. Los límites de movimiento del haz para torsión horizontal y vertical (los cuales en la mayoría de los análisis se tratan de manera separada) serán la suma de los valores correspondientes de las columnas C & D, G & H y G & I. Las columnas G, H e I se aplican para una configuración tipo periscopio vertical.
3. No es la intención de los valores de esta tabla implicar una precisión de la determinación del ancho de haz ni del cálculo de rigidez estructural más allá de valores prácticos y procedimientos de cálculo conocidos. Para la mayoría de las estructuras para microondas no resulta práctico exigir una rigidez estructural calculada menor que  $\frac{1}{4}$  grado de torsión horizontal o vertical con una Velocidad Básica del Viento de 50 mph [22,4 m/s].
4. Para los reflectores pasivos se asume que los valores admisibles de torsión horizontal y vertical incluyen los efectos de todos los miembros que contribuyen a la rotación de la cara bajo carga de viento. Para los reflectores pasivos no muy elevados sobre el nivel del terreno (aproximadamente 5 a 20 pies [1,5 a 6 m]) se considera que la estructura y los elementos que soportan la cara de reflexión constituyen una unidad integral. Por lo tanto, separar la parte de la deflexión correspondiente a la estructura solamente tiene sentido si los reflectores pasivos están montados sobre estructuras para antenas de microondas convencionales.
5. Se considera que la torsión vertical admisible para los reflectores pasivos es 1,4 veces la torsión horizontal admisible a fin de tomar en cuenta la magnitud de la rotación de la cara alrededor de un eje horizontal que atraviesa el centro de la cara y es paralelo a la cara en comparación con la magnitud de la rotación del haz alrededor de la dirección del recorrido a medida que se desvía del plano del eje del haz incidente y reflejado.
6. Los movimientos lineales horizontales de las antenas y reflectores de la magnitud que se experimentan en las estructuras que soportan antenas de microondas correctamente diseñadas no se consideran un problema (a estos movimientos no se les atribuye ninguna degradación significativa de la señal).
7. En los sistemas que utilizan una frecuencia de 450 MHz, para algunas antenas los anchos de haz de media potencia pueden ser de casi  $2 \Theta$  grados. Sin embargo, las estructuras diseñadas para sistemas de relay de microondas generalmente tienen una rigidez inherente menor que el máximo ángulo de deflexión de 5 grados indicado en la tabla.
8. Los anchos de haz a 3 dB,  $2 \Theta$  HP en la columna "A" se incluyen a fin de proporcionar una referencia conveniente con qué comparar la información publicada por los fabricantes de las antenas. Para esta norma la referencia de deflexión mínima es el ángulo de deflexión total admisible  $\Theta$  en los puntos de 10 dB.

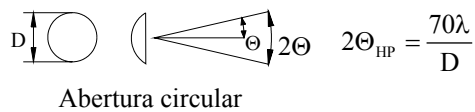


NOMOGRAMA, ÁNGULO DE DEFLEXIÓN,  $\Theta$   
EN PUNTOS DE 10 dB PARA ABERTURA RECTANGULAR  
(REFLECTOR DE CARA PLANA)

Figura C1

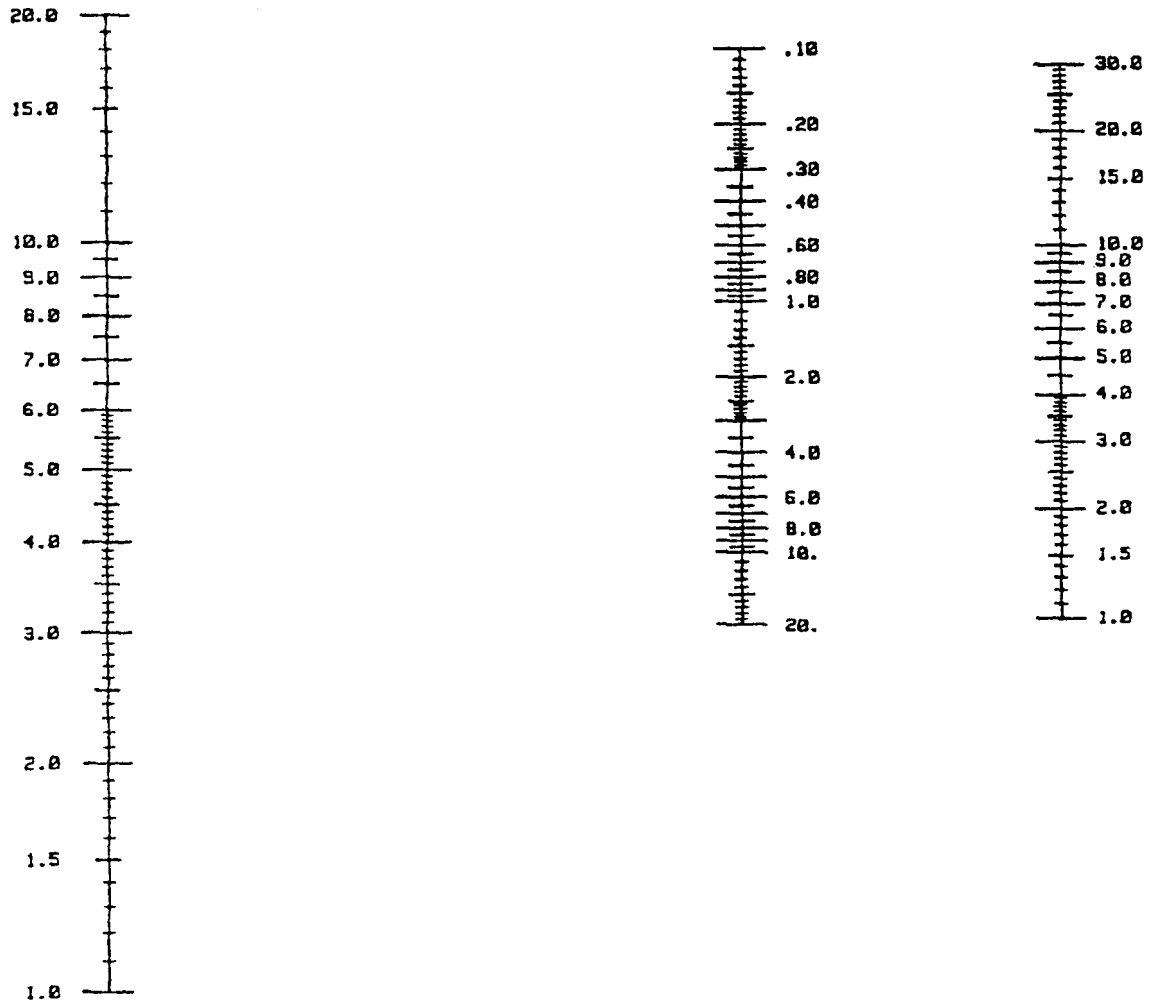


Reflector parabólico  
ahusamiento 10 dB

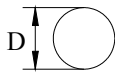


NOMOGRAMA, ANCHO DE HAZ NOMINAL  
PUNTOS DE 3dB  
(REFLECTOR PARABÓLICO TÍPICO)

Figura C2



Reflector parabólico  
ahusamiento 10 dB



$$\Theta = \frac{60\lambda}{D}$$



eje normal del haz

Abertura circular

Planta o elevación de la  
parábola

NOMOGRAMA, ÁNGULO DE DEFLEXIÓN,  $\Theta$   
EN PUNTOS DE 10 dB PARA ABERTURA CIRCULAR  
(CONTORNO DE SUPERFICIE PARABÓLICA)

**Figura C3**

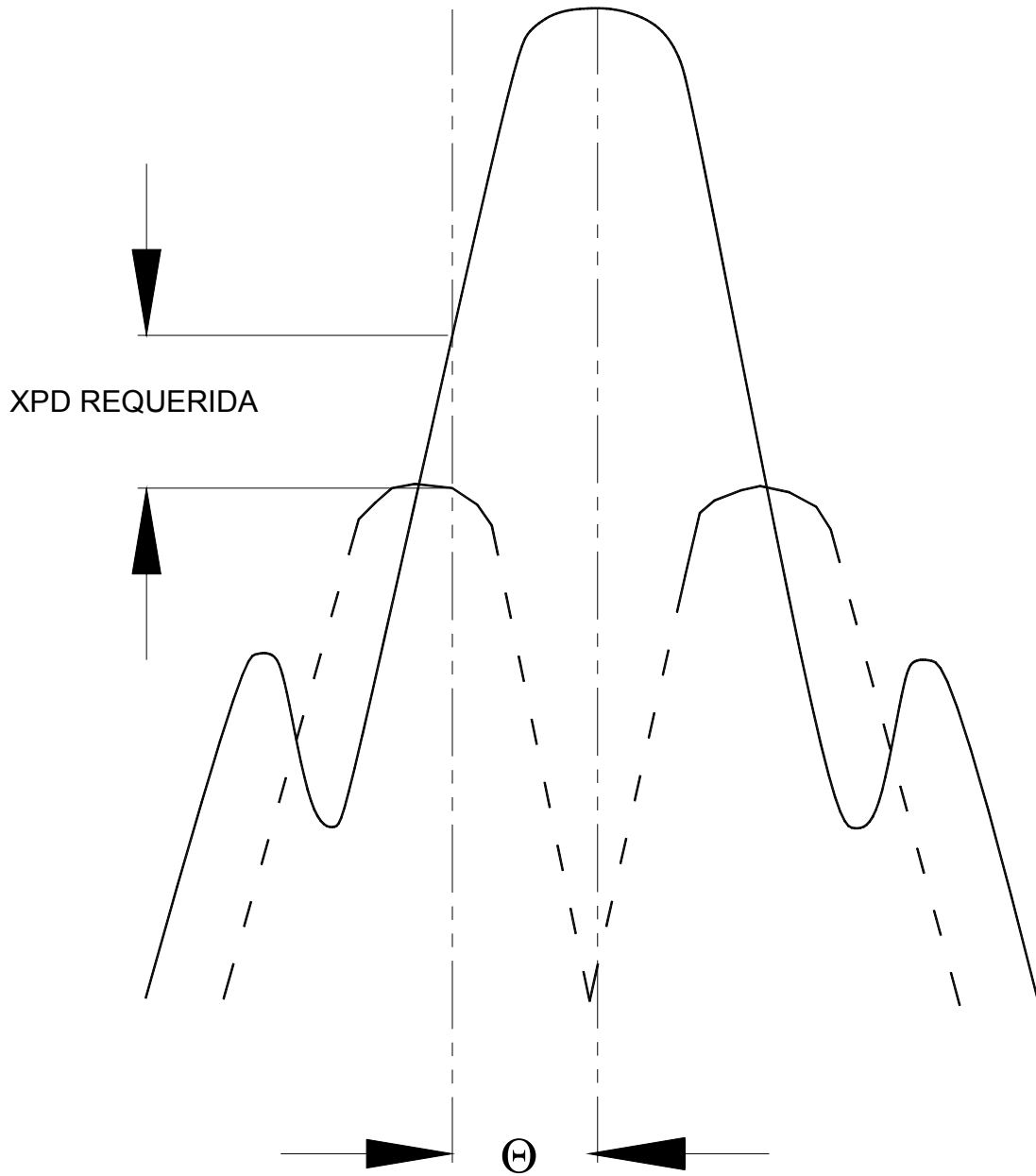




## **ANEXO D: DETERMINACIÓN DE LA TORSIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL ADMISIBLE DEL HAZ PARA SISTEMAS DE POLARIZACIÓN CRUZADA LIMITADA**

Las antenas duales polarizadas tienen un patrón como el ilustrado en la Figura D1 o como el ilustrado en la Figura D2. Para la mayoría de las antenas asimétricas (offset) el nulo de la polarización cruzada es profundo, como se ilustra en la Figura D1; para la mayoría de las antenas simétricas el nulo de la polarización cruzada es poco profundo y la envolvente es como se ilustra en la Figura D2. En cualquiera de estos casos, en cuanto la antena se mueve de su posición normal, disminuye la discriminación de la polarización cruzada, XPD (diferencia entre la señal copolarizada y la señal con polarización cruzada).

En los casos en que la discriminación de la polarización cruzada en línea resulta crítica para el funcionamiento del sistema, la deflexión admisible del haz  $\Theta$  se debería determinar como se ilustra en las Figuras D1 ó D2. Para las antenas asimétricas, incluyendo las antenas de reflector de bocina,  $\Theta$  determinará solamente la torsión horizontal y el ancho de haz de la antena determinará la torsión vertical. Para las antenas simétricas  $\Theta$  determinará tanto la torsión horizontal como la torsión vertical.



**Figura D1. Antena asimétrica**

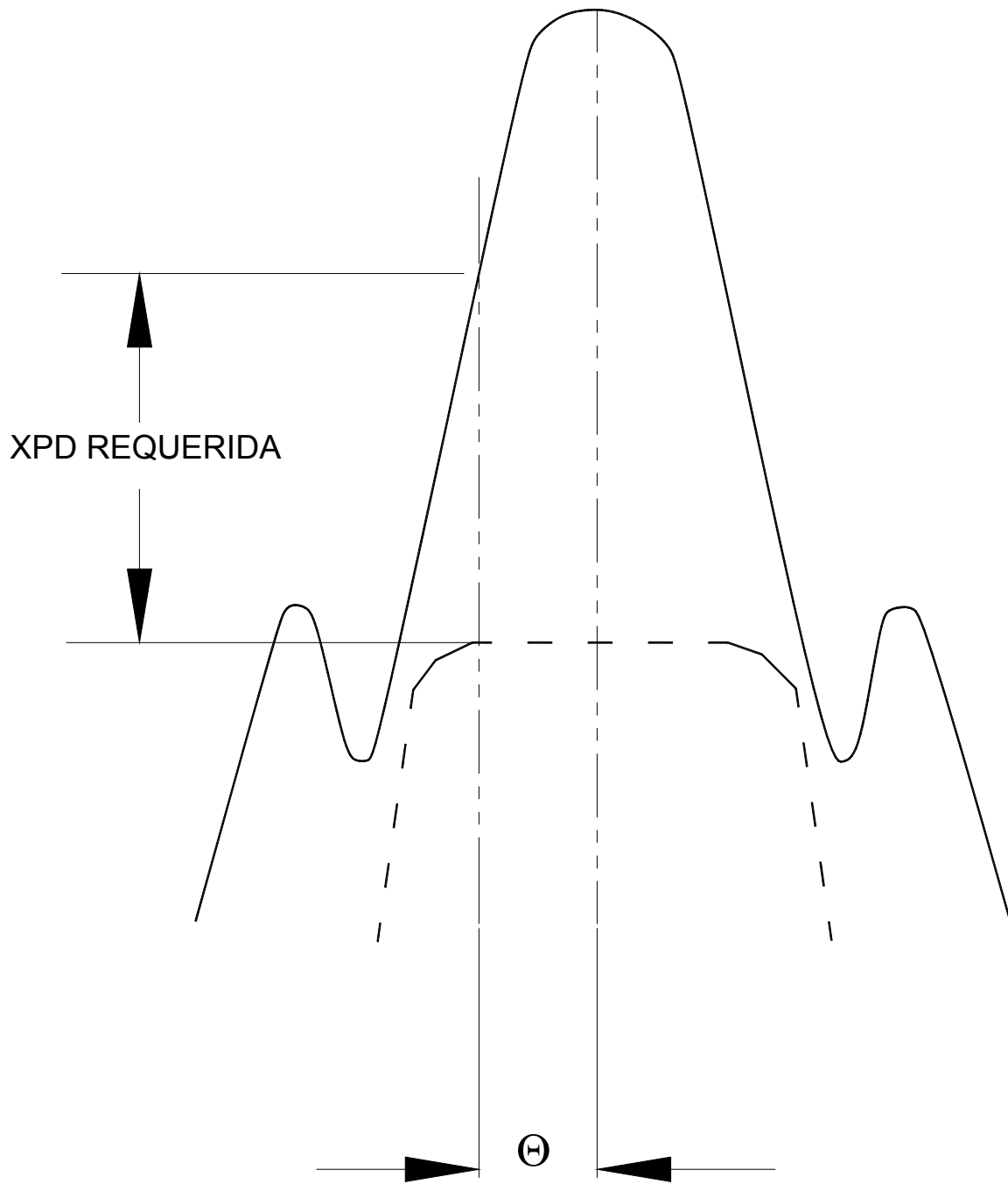


Figura D1. Antena simétrica

**Tabla D1. Tabla de torsión horizontal y vertical admisibles para sistemas de polarización cruzada limitada**

Torsión horizontal admisible para antenas asimétricas. Torsión horizontal y vertical admisibles para antenas simétricas			Torsión vertical admisible para antenas asimétricas			
A	B	C	D	E	F	G
Torsión horizontal del haz admisible para sistemas de polarización cruzada limitada (Θ)	Límite de movimiento de la antena respecto de la estructura	Límite de movimiento de la estructura en punto de fijación de la antena	Ancho de haz a 3 dB 2 Θ HP sólo para antena	Ángulo de deflexión en puntos de 10 dB	Límite de movimiento de la antena respecto de la estructura	Límite de torsión vertical de la estructura en punto de fijación de la antena
GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS	GRADOS
5,0	0,5	4,5	5,8	5,0	0,4	4,6
4,0	0,4	3,6	5,6	4,8	0,4	4,4
3,0	0,3	2,7	5,4	4,6	0,4	4,2
2,0	0,2	1,8	5,1	4,4	0,4	4,0
1,0	0,1	0,9	4,9	4,2	0,4	3,8
0,9	0,09	0,81	4,7	4,0	0,3	3,7
0,8	0,08	0,72	4,4	3,8	0,3	3,5
0,7	0,07	0,63	4,2	3,6	0,3	3,3
0,6	0,06	0,54	4,0	3,4	0,3	3,1
0,5	0,05	0,45	3,7	3,2	0,3	2,9
0,4	0,04	0,36	3,5	3,0	0,3	2,7
0,3	0,03	0,27	3,4	2,9	0,2	2,7
0,2	0,02	0,18	3,3	2,8	0,2	2,6
0,1	0,01	0,09	3,1	2,7	0,2	2,5
			3,0	2,6	0,2	2,4
			2,9	2,5	0,2	2,3
			2,8	2,4	0,2	2,2
			2,7	2,3	0,2	2,1
			2,6	2,2	0,2	2,0
			2,5	2,1	0,2	1,9
			2,3	2,0	0,2	1,8
			2,2	1,9	0,2	1,7
			2,1	1,8	0,2	1,6
			2,0	1,7	0,2	1,5
			1,9	1,6	0,2	1,4
			1,7	1,5	0,2	1,3
			1,6	1,4	0,2	1,2
			1,5	1,3	0,1	1,2
			1,4	1,2	0,1	1,1
			1,3	1,1	0,1	1,0
			1,2	1,0	0,1	0,9
			1,1	0,9	0,1	0,8
			0,9	0,8	0,1	0,7
			0,8	0,7	0,1	0,6
			0,7	0,6	0,1	0,5
			0,6	0,5	0,1	0,4
			0,5	0,4	0,1	0,3
			0,3	0,3	0,05	0,25
			0,2	0,2		
			0,1	0,1		

Nota: Ver notas en página siguiente.

**Notas:**

1. Si los valores de las columnas "S" y "E" de la tabla de torsión vertical y la columna "A" de la tabla de torsión horizontal se pueden obtener del fabricante de las antenas o del usuario del sistema de antenas, los valores se deben obtener de las Figuras C1, C2 ó C3.
2. Los límites de movimiento del haz para torsión horizontal o vertical (los cuales en la mayoría de los análisis se tratan de manera separada) son la suma de los valores correspondientes de las columnas "B" y "C" de la tabla de torsión horizontal y la suma de los valores correspondientes de las columnas "F" y "G" de la tabla de torsión vertical.
3. Los movimientos lineales horizontales de las antenas y reflectores de la magnitud que se experimentan en las estructuras que soportan antenas de microondas correctamente diseñadas no se consideran un problema (a estos movimientos no se les atribuye ninguna degradación significativa de la señal).
4. Los anchos de haz a 3 dB,  $2 \Theta$  HP en la columna "D" se incluyen a fin de proveer una referencia conveniente con qué comparar la información que publican los fabricantes de las antenas. Para esta norma la referencia de deflexión mínima es el ángulo de deflexión total admisible  $\Theta$  en los puntos de 10 dB.
5. Los valores indicados en esta tabla describen deflexiones angulares en dos planos ortogonales normales a la dirección de la visual: elevación vertical (torsión vertical) y azimut horizontal (torsión horizontal). No se han incluido tolerancias por los efectos iniciales debidos a la oblicuidad del montaje, tolerancias de instalación, recorridos que no son normales a las estructuras de apoyo, etc. Estos casos requieren consideraciones especiales.
6. No es la intención de los valores de esta tabla implicar una precisión de la determinación del ancho de haz ni del cálculo de rigidez estructural más allá de valores prácticos y procedimientos de cálculo conocidos. Para la mayoría de las estructuras para microondas no resulta práctico exigir una rigidez estructural calculada menor que  $\frac{1}{4}$  grado de torsión horizontal o vertical con una Velocidad Básica del Viento de 50 mph [22,4 m/s].



## ANEXO E: PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE TORRES

Los propietarios de torres deberían realizar una inspección inicial e inspecciones y mantenimiento periódicos para garantizar la seguridad y prolongar la vida útil de las torres. Se recomienda realizar, como mínimo, una inspección general cada tres años en el caso de las torres arriendadas y cada cinco años en el caso de las torres autoportadas. Ver Sección 14. Tanto los procedimientos en tierra como los procedimientos en altura deben ser realizados exclusivamente por personal autorizado, con experiencia en el ascenso a torres y procedimientos de ajuste.

Es posible que algunos de los puntos que se listan a continuación sólo sean aplicables durante la construcción inicial de torres nuevas.

### I. Estado de las torres (arriendadas y autoportadas)

#### A. Miembros

1. Miembros flexionados (tirantes y enrejados)
2. Miembros flojos
3. Miembros faltantes
4. Accesorios para ascenso, plataformas, pasarelas – todos ellos firmemente asegurados
5. Bulones flojos y/o faltantes

#### B. Acabado

1. Estado de la pintura y/o galvanizado
2. Estado de herrumbre o corrosión
3. Estado de las marcaciones de FAA o ICAO y sus colores
4. Acumulación de agua en los miembros (condición que debe ser corregida, por ejemplo, destapando los orificios de drenaje, etc.)

#### C. Iluminación

1. Conductos, cajas de derivación y sujetadores protegidos contra las acciones climáticas y asegurados
2. Drenajes y venteos abiertos
3. Estado del cableado
4. Controladores funcionando
  - a. Señal de destellos
  - b. Control fotoeléctrico
  - c. Alarmas
5. Lentes ópticos
6. Estado de las bombillas (Opción: cambiar todas las bombillas simultáneamente)

#### D. Puesta a tierra

1. Conexiones verificadas y firmemente aseguradas
2. Corrosión observada y corregida



3. Protección contra rayos según lo requerido

#### **E. Fundación de la base de la torre**

1. Condiciones del suelo
  - a. Asentamientos o movimientos
  - b. Erosión
  - c. Estado del predio (acumulación de agua, drenaje, árboles, etc.)
2. Estado de la base
  - a. Bulones y tuercas firmemente ajustadas
  - b. Estado del mortero
3. Estado del hormigón
  - a. Fisuración, escantilladuras, cuarteaduras
  - b. Hormigón partido o astillado
  - c. Formación de nidos de abeja
  - d. Puntos bajos para acumular humedad
  - e. Corrosión de los bulones de anclaje

#### **F. Perfil de montaje de la torre (Ver Figuras E1 y E2)**

1. Antenas y líneas de alimentación (cada una)
  - a. Frecuencia
  - b. Elevación
  - c. Tipo
  - d. Tamaño
  - e. Fabricante
  - f. Conectores y suspensores
2. Accesorios optativos (pasarelas, plataformas, sensores, lámparas, etc.)
  - a. Elevación
  - b. Disposición
  - c. Planos o croquis
3. Fundación y anclajes
  - a. Planta
  - b. Cotas (relativas o absolutas)
  - c. Tamaño
  - d. Profundidades
  - e. Tipo de suelo (si es conocido o necesario)

#### **G. Alineación de la torre (Ver Figuras E3, E6 y E7)**

1. Verticalidad y torsión horizontal de la torre (Ver 6.1.2.1 y 6.1.2.2)

#### **H. Aisladores (según se requieran)**

1. Estado de los aisladores
  - a. Fisuración y escantilladuras
  - b. Estado de limpieza de los aisladores

- c. Distancia disruptiva correctamente ajustada
- d. Estado de los transformadores de los aisladores
- e. Bulones y conexiones firmes

## II. Torres arriendadas

### A. Anclajes

1. Asentamiento, movimiento del suelo o grietas en el terreno
2. Relleno sobre el hormigón para eliminar el agua
3. Estado de las varillas de anclaje debajo del nivel del terreno (Mantener la capacidad estructural requerida del anclaje durante la exploración, inspección y mantenimiento. Puede ser necesario usar anclajes temporarios.)
4. Medidas para controlar la corrosión (galvanizado, revestimientos, cerramiento de hormigón, sistemas de protección catódica, etc. Ver Anexo J.)
5. Puesta a tierra (Párrafo I-D)
6. Cabeza del anclaje libre de tierra

### B. Riendas de la torre (Ver Figuras E4 y E5)

1. Cables
  - a. Tipo (cable 1 x 7 EHS, 1 x 19, etc.)
  - b. Tamaño
  - c. Resistencia a la rotura
  - d. Elevación
  - e. Estado (corrosión, cortes, entalladuras, etc.)
2. Ferretería para las riendas
  - a. Torniquetes (o su equivalente) ajustados y aplicados de manera segura
  - b. Manguitos de los cables colocados correctamente (si se requieren)
  - c. Camisas de servicio instaladas correctamente (si se requieren)
  - d. Conectores de los cables (accesorios para los extremos)
    - i. Grapas de los cables instaladas correctamente y bulones ajustados
    - ii. Revestimientos preformados - aplicados correctamente, totalmente revestidos, camisa en posición correcta
    - iii. Forros de los cables correctamente aplicados
    - iv. Amarres asegurados
    - v. Casquillos colados asegurados y sin evidencia de separación  
(Nota: Los conectores no deben evidenciar señales de daño ni resbalamiento de los cables.)
  - e. Grilletes, bulones, pasadores y chavetas asegurados y en buen estado
3. Tensiones en las riendas
  - a. Comparar las tensiones con el requisito de diseño
  - b. Verificar las tensiones usando métodos aceptables (ver Sección IV y Figuras E8, E9 y E10)
  - c. Registrar las tensiones y condiciones meteorológicas en tablas adjuntas (ver Figuras E4 y E5)

Notas:

- 1) Es dable esperar variaciones en las tensiones de las riendas debido a la temperatura y el viento. Estas variaciones son pequeñas. Si hubiera cambios significativos de la tensión será necesario determinar la causa inmediatamente e implementar acciones correctivas. Las posibles causas pueden ser un aflojamiento inicial durante la construcción, condiciones extremas de viento o hielo, movimientos de los anclajes, asentamiento de la base o resbalamiento en las conexiones.
- 2) Es dable esperar variaciones de la tensión en un mismo nivel debido a las diferencias de cota de los anclajes, desviaciones durante la construcción y efectos del viento.

Precaución: No verificar ni ajustar las tensiones de las riendas en condiciones de viento excesivo.

### **III. Antenas y líneas de alimentación**

#### **A. Montaje de las antenas y antenas**

1. Miembros (de montaje y estabilización)
  - a. Flexionados, rotos o fisurados
  - b. Flojos
  - c. Faltantes
  - d. Bulones flojos y/o faltantes
2. Ajustes firmes y asegurados
3. Elementos
  - a. Flexionados, rotos o fisurados
  - b. Flojos
  - c. Faltantes
  - d. Sujetadores flojos y/o faltantes
4. Estado de corrosión
5. Estado de los radomos y/o cubiertas

#### **B. Líneas de alimentación**

1. Suspensores y apoyos
  - a. Estado
  - b. Calidad
  - c. Estado de corrosión
2. Bridas y sellos (verificar integridad)
3. Estado de las líneas
  - a. Abolladuras
  - b. Abrasiones
  - c. Perforaciones
  - d. Pérdidas
  - e. Estado de las vainas
4. Puestas a tierra
  - a. Varilla a tierra superior unida en ambos extremos
  - b. Varilla a tierra inferior unica en ambos extremos

5. Apoyo de las líneas de alimentación (escudos contra hielo)
  - a. Correctamente asegurado
  - b. Bulones flojos y/o faltantes
  - c. Miembros rectos e intactos

### ELEVACIÓN DE LA TORRE

Consignar los siguientes datos:

- Altura de la torre sobre el nivel del terreno
- Ubicación de las líneas de alimentación
- Ubicación de las antenas
- Ubicación de plataformas, escaleras, etc.

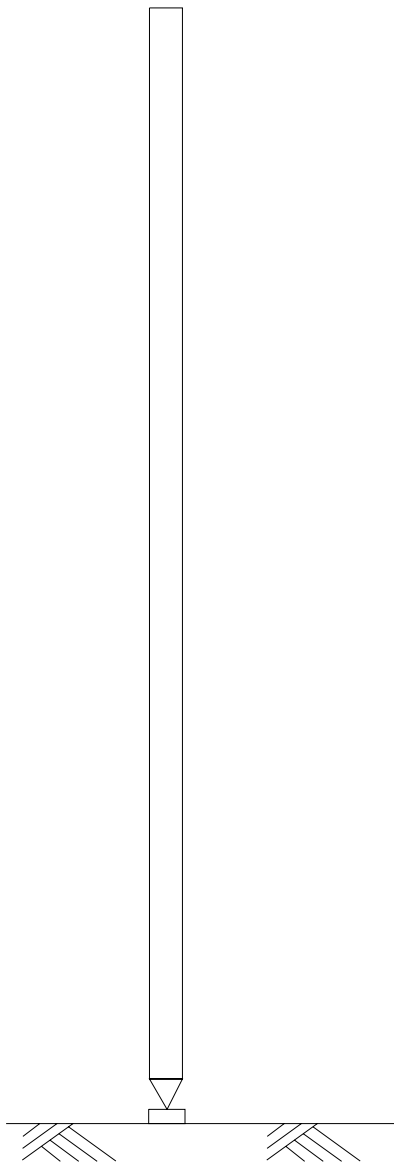


Figura E1

### PLANTA DE LA TORRE

Consignar los siguientes datos:

- Orientación de la torre respecto al norte
- Anclajes y letras con que se designan
- Cotas relativas o absolutas de los anclajes y la base
- Caminos de acceso y construcciones
- Líneas eléctricas y postes

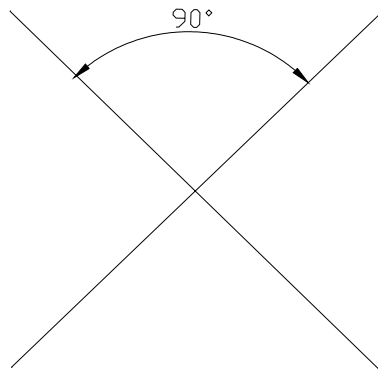
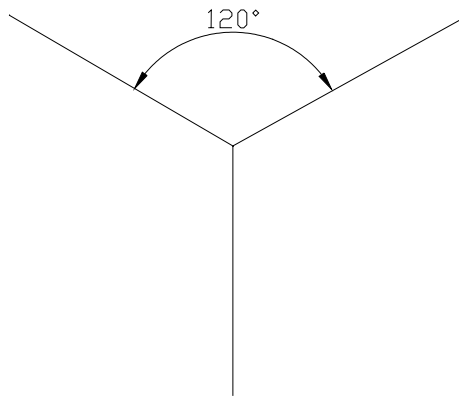


Figura E2

### ALINEACIÓN VERTICAL DE LOS TIRANTES DE LA TORRE

1. Verificar con teodolito. Se requiere estacionar dos veces el teodolito. Alinear el teodolito paralelo a una cara y centrar sobre el tirante. La segunda estación debería estar a 90° sobre el mismo tirante. Indicar en la siguiente tabla las ubicaciones usadas para estacionar el teodolito. Indicar el norte.

Estructuras autosoportadas	Nivel de las riendas Parte superior a inferior	Estación #1			Estación #2		
		Izquierdo	O	Derecho	Izquierdo	O	Derecho
Estructura en voladizo							
1000'	10	_____	_____	_____	_____	_____	_____
900'	9	_____	_____	_____	_____	_____	_____
800'	8	_____	_____	_____	_____	_____	_____
700'	7	_____	_____	_____	_____	_____	_____
600'	6	_____	_____	_____	_____	_____	_____
500'	5	_____	_____	_____	_____	_____	_____
400'	4	_____	_____	_____	_____	_____	_____
300'	3	_____	_____	_____	_____	_____	_____
200'	2	_____	_____	_____	_____	_____	_____
100'	1	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Velocidad aproximada del viento durante las mediciones: \_\_\_\_\_ mph

**Nota:** Este procedimiento no es suficiente para determinar tanto la torsión en el plano horizontal como la falta de verticalidad.

Ver Figuras E6 y E7.

Figura E3

**TORRE ARRIENDADA EN TRES DIRECCIONES**

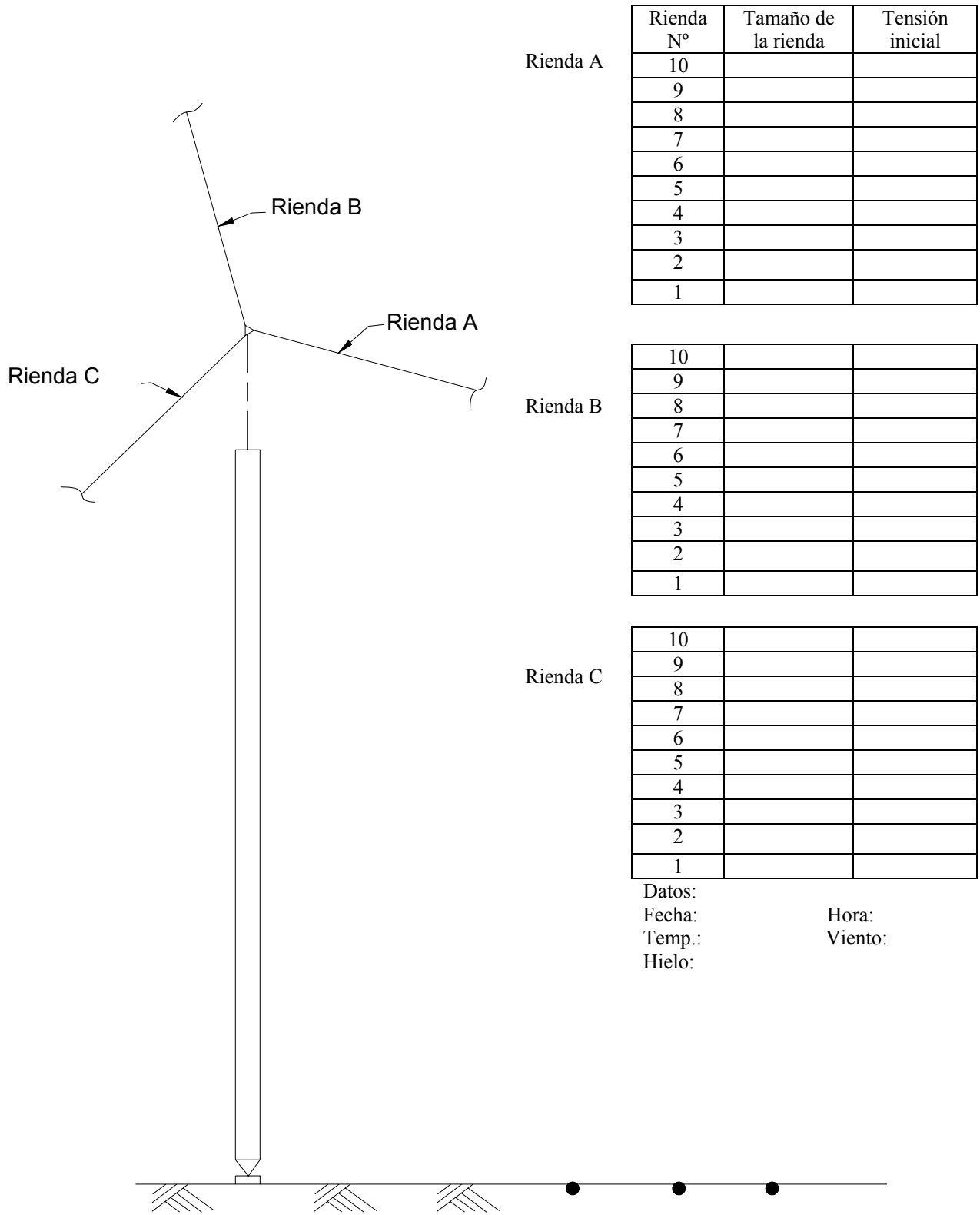
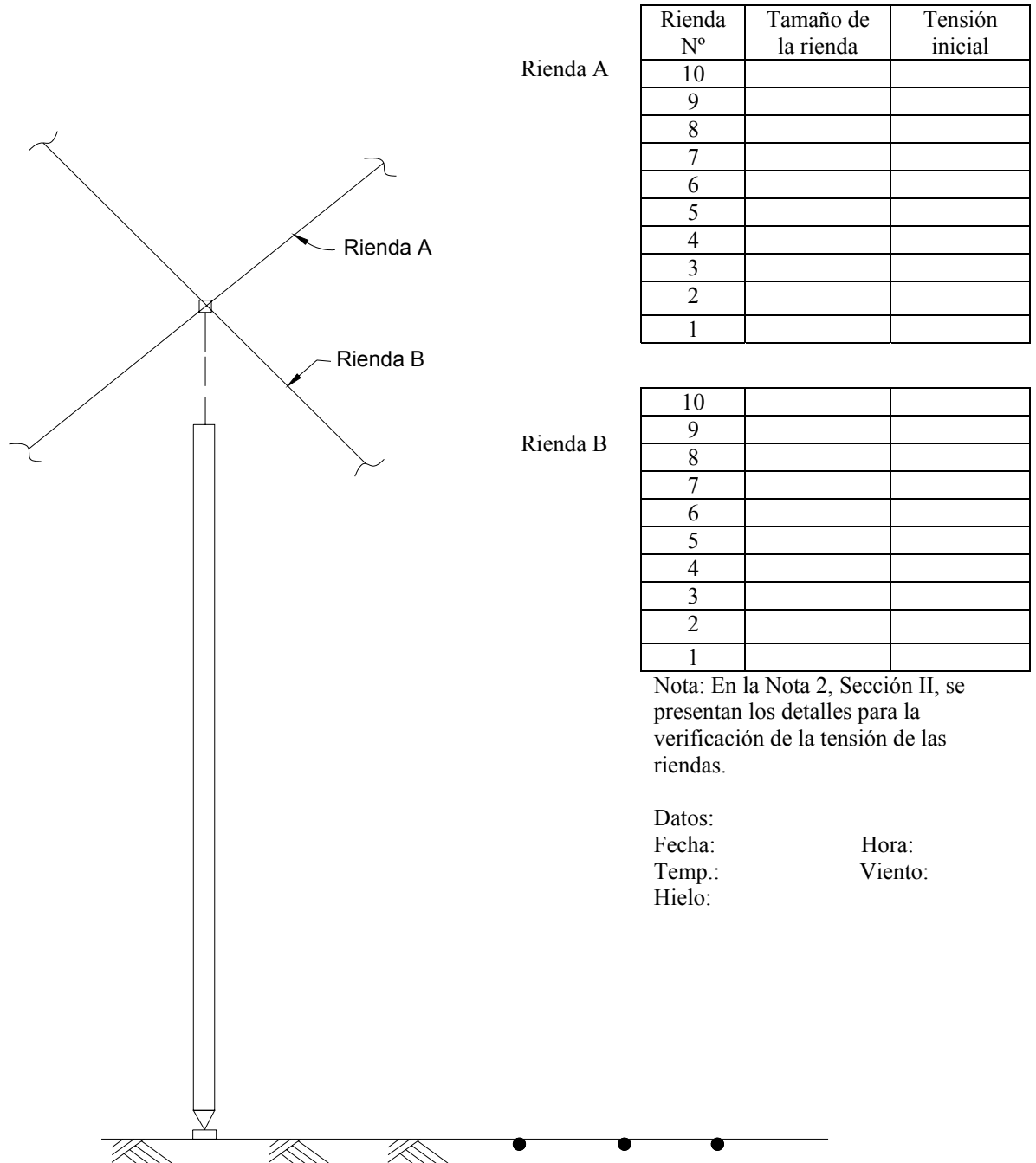


Figura E4

**TORRE ARRIENDADA EN CUATRO DIRECCIONES**



Nota: En la Nota 2, Sección II, se presentan los detalles para la verificación de la tensión de las riendas.

Datos:  
 Fecha:                      Hora:  
 Temp.:                      Viento:  
 Hielo:

Figura E5



### DETERMINACIÓN DE LA TORSIÓN HORIZONTAL Y FALTA DE VERTICALIDAD DE PARA TORRES CUADRADAS

Nombre del predio: \_\_\_\_\_  
Viento: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_  
Temperatura: \_\_\_\_\_

SE REQUIEREN CUATRO ESTACIONES, UNA EN CADA AZIMUT DE MONTANTE APUNTANDO AL CORRESPONDIENTE MONTANTE DE LA TORRE EN LA BASE DE LA TORRE PARA FIJAR LA VERTICAL VERDADERA. LA DEFLEXIÓN EN CUALQUIER PUNTO DE LA TORRE SE DEBE MEDIR RESPECTO DE ESTA VERTICAL VERDADERA, USANDO LA SIGUIENTE CONVENCION DE SIGNOS:

$$d = (D1+D2+D3+D4) / 4$$

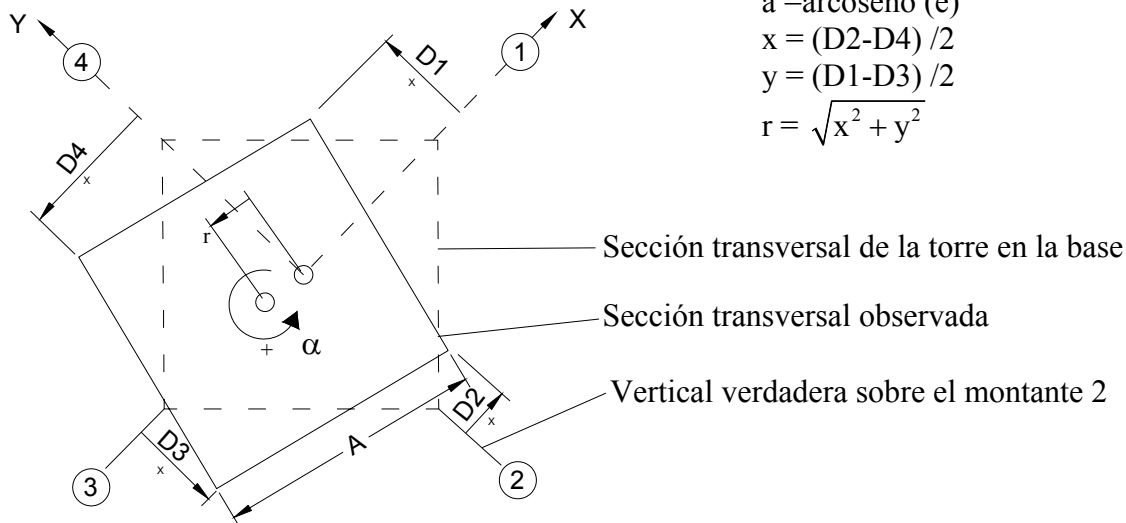
$$e = (d\sqrt{2}) / A$$

$$a = \text{arcoseno}(e)$$

$$x = (D2-D4) / 2$$

$$y = (D1-D3) / 2$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$



DATOS DEL MÁSTIL OBSERVADOS						TORSIÓN HORIZONTAL CALCULADA			FALTA DE VERTICALIDAD CALCULADA		
ELEV. MÁSTIL FT.	A IN.	D1 IN.	D2 IN.	D3 IN.	D4 IN.	d IN.	e	α DEG	x IN.	y IN.	r IN.

Figura E6. Determinación de la torsión horizontal y falta de verticalidad de torres cuadradas

## DETERMINACIÓN DE LA TORSIÓN HORIZONTAL Y FALTA DE VERTICALIDAD DE TORRES TRIANGULARES

Nombre del predio: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Viento: \_\_\_\_\_ Temperatura: \_\_\_\_\_

SE REQUIEREN TRES ESTACIONES, UNA EN CADA AZIMUT DE MONTANTE APUNTANDO AL CORRESPONDIENTE MONTANTE DE LA TORRE EN LA BASE DE LA TORRE PARA FIJAR LA VERTICAL VERDADERA. LA DEFLEXIÓN EN CUALQUIER PUNTO DE LA TORRE SE DEBE MEDIR RESPECTO DE ESTA VERTICAL VERDADERA USANDO LA SIGUIENTE CONVENCION DE SIGNOS:

$$d = (D1+D2+D3) / 3$$

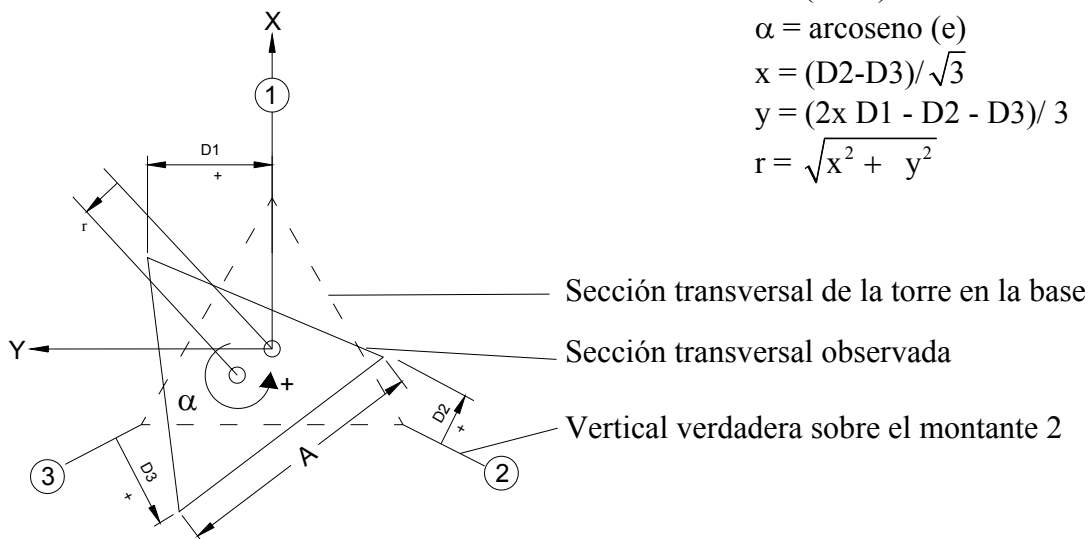
$$e = (d\sqrt{3}) / A$$

$$\alpha = \text{arcoseno}(e)$$

$$x = (D2-D3) / \sqrt{3}$$

$$y = (2x D1 - D2 - D3) / 3$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$



DATOS DEL MÁSTIL OBSERVADOS					TORSIÓN HORIZONTAL CALCULADA			FALTA DE VERTICALIDAD CALCULADA		
ELEV. MÁSTIL FT	A IN.	D1 IN.	D2 IN.	D3 IN.	d IN.	e	α DEG	x IN.	y IN.	r IN.

Figura E7. Determinación de la torsión horizontal y falta de verticalidad de torres triangulares

#### IV. Métodos para medir las tensiones iniciales de las riendas

Hay dos métodos básicos para medir la tensión inicial de las riendas en obra: el método directo y el método indirecto.

##### A. Método directo (Ver Figura E8)

Se coloca un dinamómetro (celda de carga) con un dispositivo de ajuste de longitud al sistema de riendas fijándolo a la rienda inmediatamente por encima del torniquete y al eje de anclaje debajo del torniquete, haciendo que el torniquete sea redundante.

Luego se ajusta el dispositivo de ajuste de longitud hasta que el torniquete original comienza a aflojarse. En este momento el dinamómetro lleva toda la carga de la rienda al anclaje, y la tensión de la rienda se puede obtener leyendo directamente el dial del dinamómetro.

Este método se puede usar para fijar la tensión correcta ajustando la longitud hasta que la lectura del dinamómetro coincida con la tensión correcta. Se marcan dos puntos de control, uno sobre el punto de fijación en la rienda y uno en el eje de anclaje, y se mide la longitud de control. Luego se retiran el dinamómetro y el dispositivo de ajuste de la longitud y se ajusta el torniquete original de manera de mantener la longitud de control medida previamente.

##### B. Método indirecto (Ver Figuras E8 y E9)

Existen dos técnicas comunes para la medición indirecta de la tensión inicial de las riendas: el método de pulsación u oscilación (vibración) (Figura E8) y el método de intercepción de una tangente o método de la flecha (geometría) (Figura E9).

##### 1. Método de pulsación (Ver Figuras E8 y E10)

Se aplica un tirón brusco al cable de la rienda cerca de su conexión al anclaje, provocando que un pulso u onda suba y baje por el cable. El cronómetro se inicia en el primer retorno del pulso al extremo inferior del cable. Luego se cronometran varios retornos del pulso al anclaje y la tensión del cable se calcula usando las siguientes ecuaciones:

$$T_M = \frac{WLN^2}{8,05P^2} \quad (1)$$

$$T_A = \sqrt{\left(T_M - \frac{WV}{2L}\right)^2 + \left(\frac{WH}{2L}\right)^2} \quad (2)$$

donde (ver Figura E10)

- $T_A$  = Tensión de la rienda en el anclaje (lb)  
 $T_M$  = Tensión de la rienda a la mitad de su longitud (lb)  
 $W$  = Peso total de la rienda, incluyendo aisladores, etc. (lb)  
 $L$  = Longitud de la cuerda de la rienda (ft)

$$L = \sqrt{H^2 + V^2} \quad (3)$$

- $V$  = Distancia vertical desde la fijación de la rienda en la torre hasta la fijación de la rienda en el anclaje (ft)  
 $H$  = Distancia horizontal desde la fijación de la rienda en la torre hasta la fijación de la rienda en el anclaje (ft)  
 $N$  = Número de pulsos u oscilaciones contados en  $P$  segundos  
 $P$  = Período de tiempo medido para  $N$  pulsos u oscilaciones (s)

En vez de crear un pulso que sube y baja por la rienda, el mismo resultado se puede lograr provocando que el cable oscile libremente de lado a lado y cronometrando  $N$  oscilaciones completas. Para este enfoque también se pueden aplicar las fórmulas anteriores.

## 2. Método de intercepción de una tangente (Ver Figura E9)

Se establece una visual tangente al cable de la rienda cerca del extremo de anclaje y que interseca el montante de la torre a una distancia (intercepción de la tangente) debajo del punto de fijación sobre el mástil. Se mide o estima esta distancia de intercepción de la tangente y la tensión se calcula usando la siguiente ecuación:

$$T_A = \frac{WC \sqrt{H^2 + (V-I)^2}}{HI} \quad (4)$$

donde

- $C$  = Distancia desde la fijación de la rienda en la torre hasta el centro de gravedad del peso  $W$  (ft)  
 $I$  = Intercepción de la tangente (ft)

Si el peso está uniformemente distribuido a lo largo de la rienda,  $C$  será aproximadamente igual a  $H/2$ . Si el peso no está uniformemente distribuido se puede dividir la rienda en  $n$  segmentos y emplear la siguiente ecuación:

$$T_A = \frac{S \sqrt{H^2 + (V-I)^2}}{HI} \quad (5)$$

donde

$$S = \sum_{i=1}^N W_i C_i \quad (6)$$

$W_i$  = Peso del segmento  $i$  (lb)

$C_i$  = Distancia desde la fijación de la rienda en la torre hasta el centro de gravedad del segmento  $i$  (ft)

Si la intercepción resulta difícil establecer se puede usar la pendiente de la rienda en el extremo de anclaje y la siguiente ecuación:

$$T_A = \frac{WC\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}}{(V - H \tan \alpha)} \quad (7)$$

donde

$\alpha$  = Ángulo de la rienda en el anclaje (ver Figura E9)

Observar que

$$I = V - H \tan \alpha \quad (8)$$

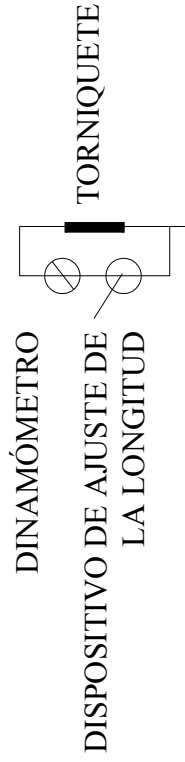
y que

$$\frac{\sqrt{H^2 + (V - I)^2}}{H} = \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} \quad (9)$$

y que en la ecuación (7)  $WC$  se puede reemplazar por  $S$ , al igual que en el caso de la ecuación (5).

**MÉTODO DEL DINAMÓMETRO**

A MEDIDA QUE SE AJUSTA LA LONGITUD DEL DINAMÓMETRO SOPORTA LA TOTALIDAD DE LA CARGA CUANDO EL TORNIQUETE SE AFLOJA TOTALMENTE (LAS TUERCAS SE LIBERAN)



**MÉTODO DE OSCILACIÓN**

LA RIENDA OSCILA ENTRE a Y b N VECES EN P SEGUNDOS

**MÉTODO DE PULSACIÓN**

EL PULSO RECORRE LA RIENDA N VECES EN P SEGUNDOS



Figura E8. Métodos para medir la tensión inicial

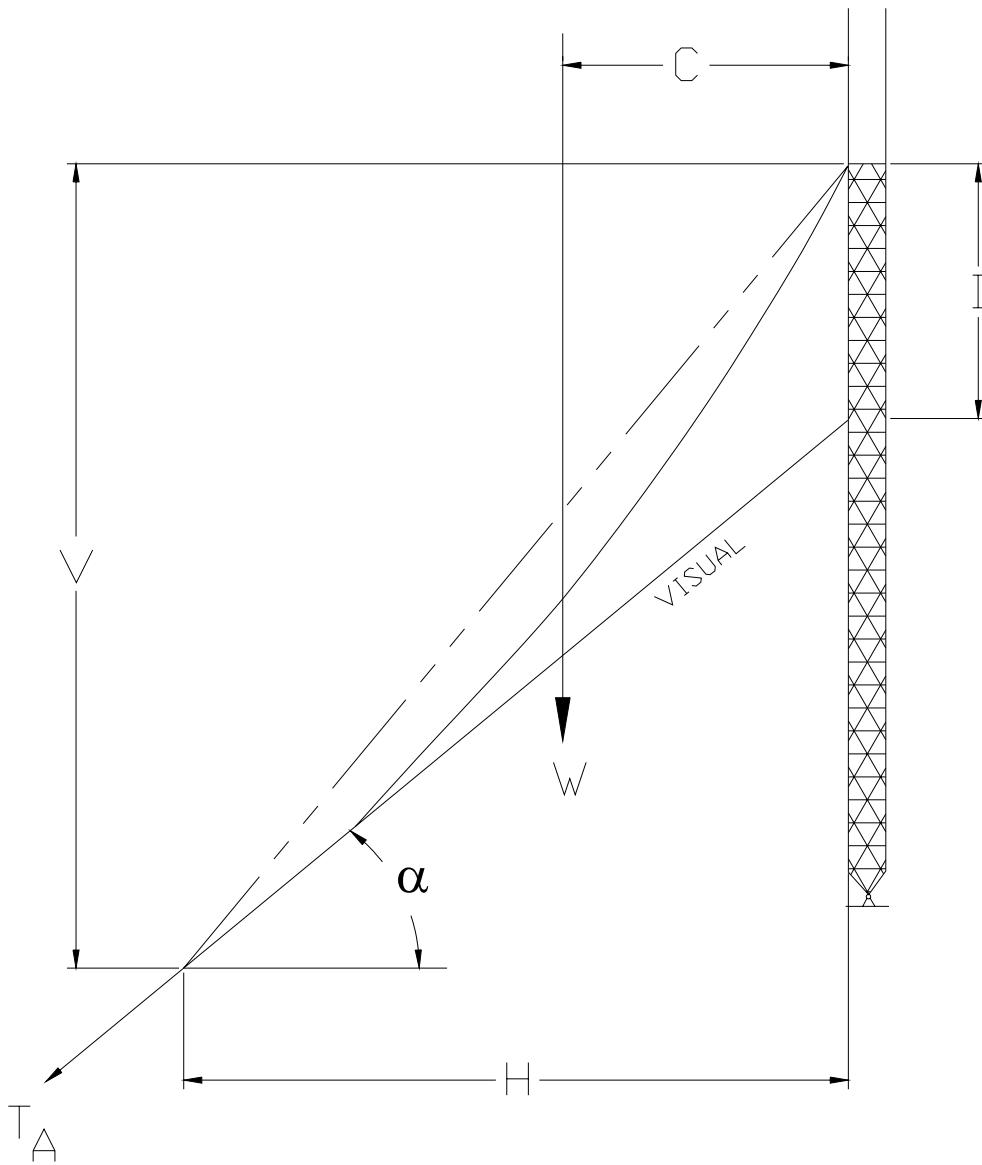


Figura E9. Método de intercepción de la tangente

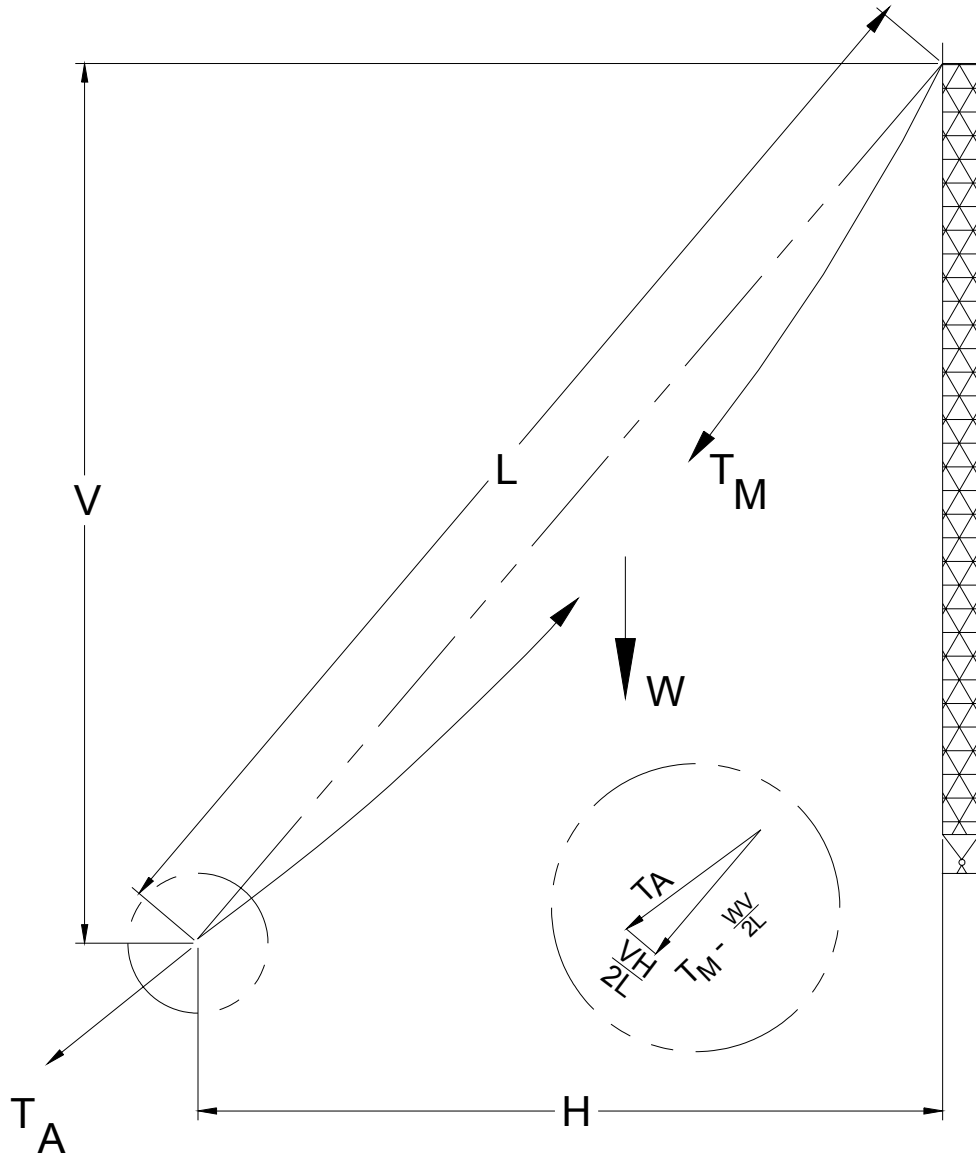


Figura E10. Relación entre la tensión de la rienda en el anclaje y a la mitad de su longitud





## **ANEXO F: CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS EXISTENTES**

Las revisiones periódicas de esta norma realizadas por el Comité se basan en comentarios recibidos de parte de la industria.

No es la intención del Comité que las estructuras existentes sean analizadas cada vez que se revisa esta norma; sin embargo, las estructuras existentes deberían ser analizadas estructuralmente por ingenieros calificados cada vez que:

- a) Se produce un cambio en las antenas, líneas de transmisión y/o accesorios (cantidad, tamaño, ubicación o tipo).
- b) Se produce un cambio en los requisitos operativos (torsión horizontal y vertical).
- c) Es necesario incrementar las cargas de viento o hielo.

Para realizar el análisis se requieren los siguientes datos:

- a) Tamaños, dimensiones y conexiones de los miembros
- b) Propiedades de los materiales
- c) Cargas existentes y propuestas; antenas (tamaño, elevación y azimut), líneas de transmisión y accesorios

Estos datos se pueden obtener de las siguientes fuentes:

- a) Análisis de tensiones y rigideces realizados anteriormente (estructura y fundación)
- b) Planos estructurales y de detalle (de diseño y de relevamiento)
- c) Especificaciones técnicas
- d) Registros de la construcción
- e) Estudios in situ



**ANEXO G: FACTORES DE CONVERSIÓN**

Conversiones habitualmente requeridas para usar EIA/TIA-222 con el Sistema Internacional de Unidades [SI]

Para convertir de	a	Multiplicar por
pulgadas (in)	milímetros (mm)	25,40
pies (ft)	metros (m)	0,3048
pies cuadrados (ft <sup>2</sup> )	metros cuadrados (m <sup>2</sup> )	0,0929
pies cúbicos (ft <sup>3</sup> )	metros cúbicos (m <sup>3</sup> )	0,0283
libras [fuerza] (lb)	newtons (N)	4,4482
libras por pie cúbico [peso] (pcf)	kilonewtons por metro cúbico (kN/m <sup>3</sup> )	0,1571
libras por pie cuadrado (lb/ft <sup>2</sup> )	pascales (Pa)	47,88
kilolibras por pulgada cuadrada (ksi)	megapascales (MPa)	6,8948
millas por hora (mi/h)	metros por segundo (m/s)	0,4470



## ANEXO H: COMENTARIO SOBRE LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA COMUNICACIONES RELACIONADOS CON EL HIELO

### 1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno meteorológico de la acumulación de hielo es muy difícil de predecir con exactitud. Para las torres y estructuras tipo monoposte la acumulación de hielo puede llegar a ser una de las cargas predominantes.

La primera tarea en el desarrollo de los criterios de diseño relacionados con el hielo es determinar si el predio propuesto o existente es susceptible a la formación de hielo. Si el predio cuenta con un historial de acumulación de hielo se debe determinar la frecuencia, el espesor, el tipo y la duración del hielo. Las fuentes potenciales de las cuales se puede obtener esta información incluyen el Servicio Meteorológico Nacional, las oficinas meteorológicas locales, los propietarios de torres existentes en el mismo predio o en predios cercanos, vecinos y consultores en meteorología.

Se debe aplicar el juicio personal para determinar si los eventos de acumulación de hielo informados son frecuentes o bien constituyen una ocurrencia excepcional. De manera similar, en algunas regiones geográficas se pueden producir simultáneamente vientos elevados y acumulación de hielo. En estos casos puede ser necesario aplicar simultáneamente las máximas cargas de viento y hielo.

El efecto de la acumulación de hielo sobre una torre generalmente se relaciona directamente con el tipo y tamaño de la torre y con el tipo y espesor del hielo. Por ejemplo, una acumulación radial de hielo de  $\frac{1}{2}$  pulgada tendrá mayor impacto sobre una torre baja de miembros pequeños que sobre una torre alta de miembros de gran tamaño. Las torres muy altas pueden acumular un gran espesor de hielo formado en las nubes en una porción del mástil. El hielo liso macizo o transparente tiene mayor densidad que la cencellada o la escarcha. En consecuencia los efectos del aumento de peso provocado por la acumulación de hielo dependerá del tipo de hielo. Las grandes acumulaciones de hielo radial pueden aumentar drásticamente el área proyectada expuesta al viento de los miembros de las torres y antenas.

### 2. TIPOS DE ACUMULACIÓN DE HIELO <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>

Existen diferentes tipos de hielo que se pueden acumular sobre las estructuras para comunicaciones. Es muy importante comprender dónde y cómo se forma cada uno de ellos.

#### 2.1 Escarcha

La escarcha es un depósito esponjoso o aireado de cristales de hielo entrelazados entre sí que se forma sobre un objeto, generalmente un objeto de pequeño diámetro expuesto al

<sup>(1)</sup> *Atmospheric Icing on Structures*. Boyd & Williams.

<sup>(2)</sup> *Draft Guidelines for Transmission Line Structural Loadings*. ASCE.

<sup>(3)</sup> Tattelman, P. y Gringorten, I.L., "*Estimated Glaze Ice and Wind Loads at the Earth's Surface for the Contiguous United States*" Air Force Cambridge Research Laboratories, Bedford, Massachusetts, 1973.

aire, tal como ramas de árboles, alambres, etc. La deposición de la escarcha es similar al proceso por el cual se forma el rocío, excepto que para que se forme escarcha la temperatura del objeto debe estar por debajo de la temperatura de congelamiento. La escarcha se forma cuando el aire, con un punto de rocío por debajo de la temperatura de congelamiento, se lleva a la saturación por enfriamiento. Las densidades de la escarcha son inferiores a  $19 \text{ lb/ft}^3$  [ $3 \text{ kN/m}^3$ ].

## 2.2 Cencellada

La cencellada es un depósito granular de hielo blanco o lechoso formado por el rápido congelamiento de gotas de agua subfundidas a medida que chocan contra un objeto expuesto. Es más densa y más dura que la escarcha, pero más liviana, más blanda y menos transparente que el hielo liso. La cencellada está compuesta fundamentalmente por gránulos de hielo discretos y tiene densidades comprendidas entre  $56$  y  $19 \text{ lb/ft}^3$  [ $9$  a  $3 \text{ kN/m}^3$ ].

Frecuentemente la cencellada se clasifica como blanda o dura. La cencellada blanda es un recubrimiento blanco y opaco de cencellada fina depositado especialmente sobre puntos y bordes de objetos. Generalmente se forma en niebla subfundida. A barlovento es posible que la cencellada blanda alcance grandes espesores, formando largos conos o agujas que apuntan hacia el viento y con una estructura similar a la escarcha.

La cencellada dura consiste en una masa opaca y granular formada por una niebla densa subfundida. La cencellada dura es compacta y amorfa y puede crecer hacia el viento en forma de conos o plumas de hielo liso. La acumulación de hielo en barcos y estructuras costeras por subfusión de la espuma del agua generalmente posee las características de la cencellada dura.

## 2.3 Hielo liso

El hielo liso es un recubrimiento de hielo, generalmente claro y liso, que habitualmente contiene algunos bolsones de aire. Se forma sobre objetos expuestos debido al congelamiento de una película de agua subfundida, generalmente depositada en forma de lluvia o llovizna. El hielo liso es más denso, más duro y más transparente que la cencellada y la escarcha. Su densidad puede llegar a  $56 \text{ lb/ft}^3$  [ $9 \text{ kN/m}^3$ ].

## 3. CONDICIONES DE FORMACIÓN DE HIELO

El tipo de hielo que se forma es determinado por las combinaciones de temperatura del aire, velocidad del viento, tamaño de las gotas y contenido de agua líquida o intensidad de precipitación. Por lo tanto, el problema de la formación de hielo se puede clasificar ya sea por las condiciones meteorológicas que lo producen o bien por el tipo de hielo que se forma.

### 3.1 Formación de hielo por congelamiento de las precipitaciones

Este es el mecanismo más común de formación de hielo y puede ocurrir en cualquier área expuesta a lluvias o lloviznas heladas. El hielo se forma cuando se fuerza aire tibio y

húmedo sobre una capa de aire subfundido y más denso sobre la superficie del terreno. A medida que el aire tibio asciende y se condensa la lluvia precipita a través del aire más frío y se congela sobre los objetos próximos al suelo. El depósito congelado es un tipo de *hielo liso* transparente. Debido a que es provocado por actividad frontal, este tipo de clima generalmente no dura más de uno o dos días.

Debido a que para que se pueda formar hielo liso sobre una superficie expuesta es necesario que haya un exceso de agua, a menudo el exceso de agua se puede congelar formando carámbanos u otras formas distendidas. En la práctica real, se puede ver hielo liso sobre cables y riendas en una gran variedad de formas, desde las clásicas vainas cilíndricas y medialunas a barlovento y carámbanos colgantes en la parte inferior hasta grandes protuberancias irregulares espaciadas a lo largo del cable. En la mayoría de los casos el hielo liso se desarrolla sobre las estructuras como una capa relativamente lisa en las superficies a barlovento, con formación de carámbanos debajo de los miembros horizontales. Aparentemente la geometría del hielo liso depende de una combinación de factores, tales como la velocidad del viento, las variaciones de la velocidad del viento, el ángulo del viento, la turbulencia del flujo, las variaciones de la temperatura del aire y la duración de la tormenta. Como la mayoría de estos factores son diferentes para cada tormenta, y aún durante una misma tormenta, a los fines del diseño se supone una forma cilíndrica de peso equivalente.

### 3.2 Formación de hielo dentro de las nubes

Este tipo de formación de hielo es provocada por el choque de gotas de agua de una nube subafundidas contra el cable o la estructura. Este hielo es *cencellada*. Puede ocurrir en regiones montañosas en las cuales hay nubes por encima de la altura de congelamiento o en una niebla subfundida a menor altura producida por una masa de aire estable con una fuerte inversión de temperatura. Estas condiciones pueden durar varios días o semanas.

La cantidad total de hielo formado dentro de una nube que se deposita depende de la velocidad del viento. Debido a que la velocidad del viento aumenta a medida que aumenta la cota, en la parte superior de las torres de mayor altura y sobre los cables que soportan o que están montados sobre las torres de mayor altura se formarán las mayores cantidades de este tipo de hielo.





## ANEXO I: ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA TORRES

Se recomienda que una empresa especializada en geotecnia realice un estudio de suelo en el sitio de emplazamiento de cada torre a fin de determinar el tipo de suelo específico y sus características físicas únicas, y también para obtener datos que permitan desarrollar parámetros de diseño seguros, alternativas de fundación económicas y procedimientos de instalación adecuados. Para garantizar que el informe proporcione información útil al diseñador de las fundaciones, es necesario proporcionar a la empresa especializada en geotecnia la siguiente información:

- a. Plano de la planta y ubicación indicando la torre, los edificios, equipamientos y otras mejoras del predio.
- b. En el caso de las torres arriendadas, reacción vertical y corte en la base de la torre y reacciones verticales y horizontales de los anclajes; en el caso de las torres autosoportadas, reacciones máximas de compresión y tracción (levantamiento) y corte.
- c. Cualquier condición o requisito especial de las especificaciones.
- d. La profundidad mínima de las perforaciones para las bases de las torres arriendadas debería ser de 15 a 20 ft; para los anclajes de las torres arriendadas 10 a 15 ft; en el caso de las torres autosoportadas la profundidad de perforación variará dependiendo del tipo de fundación considerada. La magnitud de las reacciones de la estructura, el predio y las condiciones del suelo pueden obligar a modificar los requisitos de profundidad de perforación.

El informe geotécnico debería proporcionar, como mínimo, la siguiente información:

- a. Registro de las perforaciones
  1. Fecha, métodos de muestreo y número y tipo de muestras.
  2. Descripción de los estratos del suelo de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
  3. Profundidades a las cuales se producen los cambios de estrato referenciadas a un dato del predio.
  4. Número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar.
  5. Densidades del suelo.
  6. Altura del agua libre encontrada y su nivel luego de veinticuatro horas, y altura del agua recomendada a considerar en el diseño.
  7. Profundidad máxima y profundidad media de la penetración de las heladas.

- b. Otras características o propiedades del suelo que puedan ser necesarias debido a las condiciones locales. (En el Anexo J se describen opciones para el control de la corrosión de los anclajes de las riendas en contacto directo con el suelo.)
- c. Descripción de métodos de fundación alternativos con recomendaciones sobre los valores últimos para la presión pasiva, presión de contacto y fricción superficial, ángulo de fricción interna y otras propiedades del suelo aplicables y factores de seguridad adecuados.

## ANEXO J: OPCIONES PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN DE ANCLAJES PARA RIENDAS EN CONTACTO DIRECTO CON EL SUELO

### 1 INTRODUCCIÓN

Numerosos anclajes para riendas diseñados de acuerdo con las Normas EIA/TIA se han comportado adecuadamente aún estando en contacto directo con el suelo, sin corrosión perjudicial. Sin embargo, dependiendo de la vida útil de diseño requerida para la estructura y de las condiciones particulares del predio, puede ser necesario implementar medidas para el control de la corrosión, además del galvanizado por inmersión en caliente, para impedir el deterioro prematuro de este tipo de anclajes.

Los materiales galvanizados por inmersión en caliente han demostrado ser altamente efectivos para resistir la corrosión cuando están en contacto directo con el suelo. En un estudio de diez años de duración realizado por el *National Bureau of Standards* que involucró 45 tipos de suelos, solamente una de las muestras presentó algo de penetración del metal de base. Un ensayo de trece años de duración en ceniza (una de las subrasantes más corrosivas) indicó que la corrosión se reducía eficazmente, aún cuando el recubrimiento de cinc era destruido durante los dos primeros años. Una teoría que explica este comportamiento es que la capa de aleación entre el cinc y la superficie de acero, la cual se forma durante el proceso de galvanizado por inmersión en caliente, constituye una importante fuente de protección. Además, en algunos suelos, durante el proceso de corrosión se forma una capa protectora de un compuesto de cinc, la cual disminuye la velocidad de la corrosión.

A pesar de la naturaleza protectora de los materiales galvanizados por inmersión en caliente, se conocen informes que indican la presencia de una corrosión inaceptable de los anclajes ocurrida durante los diez primeros años posteriores a la instalación. Inspeccionar los anclajes es de fundamental importancia para determinar si en un sitio determinado está ocurriendo una corrosión acelerada. La actividad corrosiva puede variar ampliamente dentro de un mismo predio. La corrosión se puede producir en uno o más anclajes y en anclaje determinado puede ocurrir a cualquier profundidad. En este anexo se describen brevemente algunas de las condiciones locales de un predio que pueden provocar la corrosión acelerada. En presencia de estas condiciones es necesario considerar medidas adicionales para el control de la corrosión.

No es la intención de este anexo constituir un tratado exhaustivo sobre la corrosión de los anclajes, sino ayudar a los propietarios a tomar conciencia de los potenciales problemas de corrosión de los anclajes y de la importancia de la inspección de los mismos. También deseamos alentar a los propietarios a solicitar información adicional de especialistas, tanto para construcciones nuevas como para construcciones existentes. Los especialistas en corrosión pueden recomendar métodos para restringir o monitorear la corrosión descubierta en predios existentes o presentar opciones a considerar para predios propuestos.

### 2. TIPOS DE CORROSIÓN

#### 2.1 Corrosión galvánica

La corrosión galvánica de los anclajes en el suelo se produce cuando existe una corriente autogenerada debido a la conexión de metales diferentes o debido a la existencia de condiciones no uniformes a lo largo de la superficie de un anclaje.

Cuando un metal diferente se conecta eléctricamente a un anclaje, entre ambos metales existe una diferencia de potencial. Si el metal diferente también está en contacto con un suelo de baja resistividad existe un circuito completo. La corriente fluirá de un metal al otro debido a la conexión eléctrica y regresará a través del suelo completando el circuito. Este fenómeno natural es el motivo por el cual se obtiene corriente de una batería cuando sus bornes están conectados eléctricamente.

Los metales diferentes se comportan de esta manera debido a la diferencia de potencial que posee cada metal de manera inherente. Los metales se pueden listar ordenadamente según su potencial, empezando por los más activos y finalizando por los menos activos. Estas listas se denominan series galvánicas. En la Tabla J1 se presenta una serie galvánica de metales y aleaciones de uso frecuente.

Cuando existe un circuito completo la corrosión ocurre en el metal más activo (metal ubicado más arriba en la serie galvánica). Aquí es donde existe corriente y dicha corriente viaja a través del suelo hacia el metal menos activo (ubicado más abajo en la serie galvánica). Por ejemplo, si un sistema de puesta a tierra de cobre en un suelo conductor está directa o indirectamente (por medio de cables) conectado eléctricamente a un anclaje de acero, la corrosión ocurrirá en el anclaje, ya que el acero es más activo que el cobre, es decir, está más arriba en la serie galvánica.

La velocidad de corrosión dependerá fuertemente de la conductividad del suelo y de las posiciones relativas de los metales en la serie galvánica. Cuanto mayor sea la conductividad del suelo y más alejados estén los metales en la serie galvánica, mayor será la velocidad de corrosión. Existen otros numerosos factores que podrían provocar la corrosión acelerada de los anclajes, pero estos factores están fuera del alcance de este comentario.

Si las condiciones sobre la superficie del anclaje no son uniformes también puede ocurrir corrosión galvánica a diferentes velocidades, aunque no haya un metal diferente presente. Esta situación puede existir cuando la base del anclaje está empotrada en hormigón. Debido a que es muy diferente al suelo que rodea la porción expuesta del anclaje, el hormigón húmedo tendrá un potencial diferente. Si la conductividad del suelo circundante es elevada es posible que ocurra una corrosión acelerada. Los rellenos de composición no uniforme, la compactación, el contenido de humedad, la porosidad, etc., son todos factores que podrían provocar estas diferencias de potencial localizadas a lo largo del anclaje.

## 2.2 Corrosión electrolítica

La corrosión electrolítica es muy similar a la corrosión galvánica. La diferencia es que la corriente responsable de la corrosión electrolítica proviene de una fuente externa, a diferencia de la corriente autogenerada responsable de la corrosión galvánica. Las fuentes externas de corriente que pueden provocar la corrosión electrolítica incluyen los sistemas de rieles eléctricos, las operaciones mineras, las operaciones de soldadura, las maquinarias o los sistemas de control de la corrosión para tuberías o estructuras cercanas.

Para que se produzca corrosión electrolítica el suelo circundante debe ser conductor y una corriente de una fuente externa debe ingresar y egresar de un anclaje en su recorrido hacia un punto de menor potencial. Generalmente el anclaje no se ve afectado en el punto de ingreso.

Pero en el punto de egreso, al igual que en el caso de la corrosión galvánica, puede ocurrir corrosión acelerada.

### 3 POTENCIAL CORROSIVO DEL SUELO

El potencial corrosivo en un sitio determinado es una función de numerosas variables. Afortunadamente, una de las variables más importantes, la conductividad del suelo, puede ser determinada por medio de estudios geotécnicos.

#### 3.1 Conductividad del suelo

La conductividad de un suelo generalmente se determina midiendo su resistividad. La resistividad habitualmente se mide en ohm-centímetro (ohm-cm). Cuanto menor es la resistividad, mayor es la conductividad. Por ejemplo, el agua salada, un ambiente muy corrosivo, posee una resistividad de aproximadamente 25 ohm-cm. La arena limpia y seca, la cual generalmente constituye un ambiente no corrosivo, puede tener una resistividad de más de 1.000.000 ohm-cm. Los suelos cuyas resistividades están por debajo de 2000 ohm-cm generalmente se consideran altamente corrosivos.

#### 3.2 Otros factores

La resistividad del suelo puede variar de manera estacional y generalmente es una función de su composición mineral, contenido de humedad y concentración de sales disueltas. Las arcillas y los suelos con altos contenidos de humedad generalmente poseen menor resistividad que las arenas o los suelos con bajos contenidos de humedad. Sin embargo, un suelo arenoso seco se puede volver muy agresivo si aumenta su contenido de humedad en presencia de sales disueltas. De manera similar, un suelo húmedo puede no ser agresivo en ausencia de sales disueltas. La temperatura también afecta los valores de la resistividad. La resistividad de un suelo puede ser muy elevada si se la mide en condiciones próximas al congelamiento, pero el mismo suelo puede ser muy agresivo en condiciones más cálidas.

Otros numerosos factores afectan en diverso grado el potencial corrosivo del suelo. Algunos de estos factores son: el drenaje, la porosidad del suelo (aireación), su acidez o alcalinidad (pH), ciertas propiedades químicas, las actividades metabólicas de ciertos microorganismos, las estructuras adyacentes y/o con protección catódica. Estos factores también pueden variar según la estación o debido a otras actividades en el predio, tal como la adición de compuestos al suelo para aumentar la efectividad de un sistema de puesta a tierra. Debido a la cantidad de factores potencialmente involucrados, no siempre es posible determinar el factor que determina el fenómeno de la corrosión acelerada.

#### 3.3 Estudios geotécnicos

Cuando se realiza un estudio geotécnico se deben establecer, como mínimo, la resistividad local del suelo y el tipo y concentración de las sales disueltas. Con esta información, junto con una descripción de todas las construcciones existentes y/o propuestas, un especialista en corrosión estará en condiciones de recomendar diferentes propuestas para el control de la

corrosión. El especialista en corrosión puede requerir ensayos adicionales in situ a fin de diseñar e implementar adecuadamente un sistema para el control de la corrosión.

#### 4 ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DE LA CORROSIÓN

Ninguna de las siguientes alternativas para el control de la corrosión elimina la necesidad de un adecuado monitoreo y mantenimiento durante la vida útil de la estructura.

##### 4.1 Modificar el predio

Mejorar el drenaje o colocar una capa de suelo impermeable en el lugar donde se encuentra un anclaje puede reducir la velocidad de corrosión. En algunas circunstancias puede ser posible rellenar alrededor del anclaje usando un suelo de alta resistividad. También se pueden agregar productos químicos para neutralizar los suelos corrosivos existentes o mitigar la acción de microorganismos. Se deben extremar las precauciones para garantizar que durante las excavaciones se mantenga la capacidad estructural requerida en los apoyos de los anclajes y para evitar contaminar el suelo restante con sustancias tóxicas. Reubicar un anclaje puede resultar una alternativa razonable si se sabe que en un sitio determinado la causa o posibilidad de corrosión acelerada es una condición puntual y localizada.

En el caso de las varillas de cobre para puesta a tierra de los anclajes, reemplazando estas varillas por varillas de acero galvanizado se reduciría la corrosión galvánica, ya que se eliminaría la presencia de un metal diferente. Es necesario prestar atención al conductor a tierra y su conexión a una varilla galvanizada, especialmente cuando esta conexión está debajo del nivel del terreno.

Aislar los anclajes de la estructura puede ayudar a reducir la transmisión de corrientes parásitas provenientes de fuentes externas y en consecuencia minimizar la corrosión electrolítica. La corrosión galvánica debida a la presencia de varillas de cobre se eliminaría si los cables de puesta a tierra se conectaran entre la torre y el punto de aislación. La aislación también puede aumentar la eficiencia de los ánodos "sacrificables" descritos en 4.4. Uniendo los anclajes a tuberías o estructuras adyacentes con protección catódica se pueden proteger los anclajes, y no someterlos a una posible corrosión electrolítica. Esto sólo se debe realizar siguiendo las recomendaciones de un especialista en corrosión.

##### 4.2 Recubrimientos protectores

Existen numerosos tipos de recubrimientos protectores, tanto orgánicos como inorgánicos. La efectividad de un recubrimiento depende fuertemente de la preparación de las superficies de los anclajes, el método de aplicación y la vulnerabilidad del recubrimiento frente a los potenciales daños durante la etapa constructiva. Los recubrimientos protectores pueden ser particularmente efectivos si se los utiliza conjuntamente con un sistema de protección catódica como se describe en 4.4.

##### 4.3 Encapsulamiento en hormigón

Se puede evitar el contacto directo con el suelo encapsulando la totalidad de la longitud enterrada de un anclaje con hormigón armado. El encapsulamiento se debería prolongar al

menos 6 in. por encima del nivel del terreno. Si además se utiliza un muerto de anclaje de hormigón, la armadura del encapsulamiento de hormigón se debe desarrollar adecuadamente hacia el muerto de anclaje para impedir una fisuración excesiva. Si hay sulfatos solubles en el suelo o el agua subsuperficial, todos los elementos de hormigón ubicados por debajo del nivel del terreno debe ser de hormigón resistente a los sulfatos.

#### 4.4 Protección catódica

Tanto en el caso de la corrosión galvánica como en el caso de la corrosión electrolítica la corrosión ocurre cuando hay flujo de corriente desde el anclaje hacia el suelo circundante. El objetivo de la protección catódica es invertir la dirección de la corriente, haciendo que la corriente fluya hacia el anclaje y no desde el mismo. Esto se puede lograr instalando ánodos galvánicos o bien introduciendo una corriente aplicada.

Conectando eléctricamente un metal (ánodo galvánico) más activo, es decir, más alto en la serie galvánica, y enterrándolo en un sitio próximo se puede obligar a que la corriente fluya hacia el elemento protegido alejándose del ánodo. Esto provocará la corrosión del ánodo metálico instalado y evitará la corrosión del elemento a proteger. Por este motivo el metal instalado se denomina ánodo "sacrificable"; también por este motivo los ánodos instalados se deben inspeccionar periódicamente para verificar que la corrosión que han sufrido no los ha inutilizado. Un típico ánodo sacrificable consiste en magnesio empacado en una mezcla de relleno especialmente preparada para mejorar su conductividad con el suelo.

El número, tipo, tamaño y ubicación de los ánodos galvánicos deben ser determinados por un especialista en corrosión y deben ser tales que aseguren que la corriente fluya en la dirección correcta, superando los efectos de todas las demás influencias presentes en el sitio de emplazamiento. Durante toda la vida útil de la estructura un especialista en corrosión debe monitorear periódicamente la efectividad de los sistemas instalados. Esto se puede hacer midiendo el potencial del anclaje protegido con respecto a un electrodo de referencia colocado en el suelo. Un potencial negativo suficientemente grande indica que la corriente está fluyendo hacia los anclajes, es decir, tal como se requiere para controlar la corrosión.

En ciertas circunstancias, la instalación de un número suficiente de ánodos galvánicos para asegurar que la corriente fluya en la dirección deseada puede no resultar práctico o económico. En estos casos puede ser necesario usar una corriente aplicada junto con un ánodo. La aplicación de la corriente requiere el empleo de una fuente confiable que produzca la corriente deseada. El borne positivo de la fuente se conecta al ánodo, y la corriente sale del ánodo, atraviesa el suelo e ingresa al anclaje superando los efectos de todas las demás influencias. Debido a que la corriente estaría ingresando al anclaje desde el suelo, la corrosión del anclaje estaría controlada. El voltaje de la fuente, su tamaño, la ubicación y el tipo de ánodo requerido, además de los posibles efectos sobre las estructuras adyacentes, debe ser determinado por un especialista en corrosión. Una sobreprotección puede provocar la corrosión acelerada de las estructuras adyacentes y también puede dañar los anclajes o el recubrimiento de los anclajes, ya que la elevada corriente puede formar compuestos no deseados y/o gas de hidrógeno.



5 REFERENCIAS

Uhlig, H.H., "The Corrosion Handbook", John Wiley & Sons, NY, 1948.

Uhlig, H.H., Revie, R.W., "Corrosion and Corrosion Control", Tercera Edición, John Wiley & Sons, NY, 1985.

Wilson, C.L., Oates, J.A., "Corrosion and the Maintenance Engineer", Hart Publishing Company, NY, 1968.

Husock, B., "Fundamentals of Cathodic Protection", HARCO Technologies Corporation, Medina, Ohio.

<b>TABLA J1</b>
<b>SERIE GALVÁNICA DE METALES Y ALEACIONES DE USO FRECUENTE</b>
MAGNESIO
ZINC
ALUMINIO
HIERRO, ACERO
PLOMO, ESTAÑO
BRONCE, COBRE, LATÓN
PLATA
GRAFITO