

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 Θ .

G_H = Factor de ráfaga de 2.3.4

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

= Área de la placa (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

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

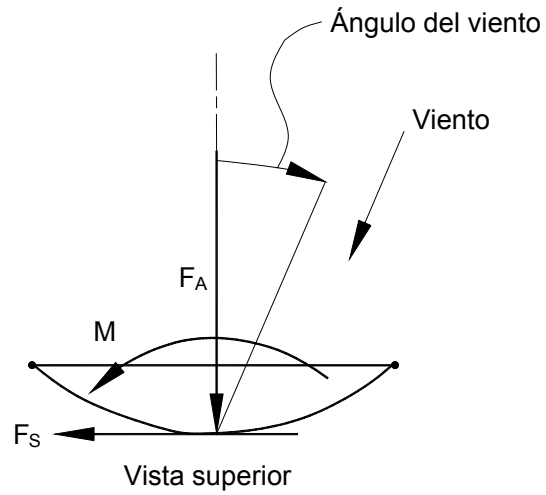
Nota: En ausencia de información más precisa, para las antenas de rejilla con hielo usar los coeficientes para calcular la fuerza de viento en paraboloides típicas sin radomo de la Tabla B1.

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

ÁNGULO DEL VIENTO Θ (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

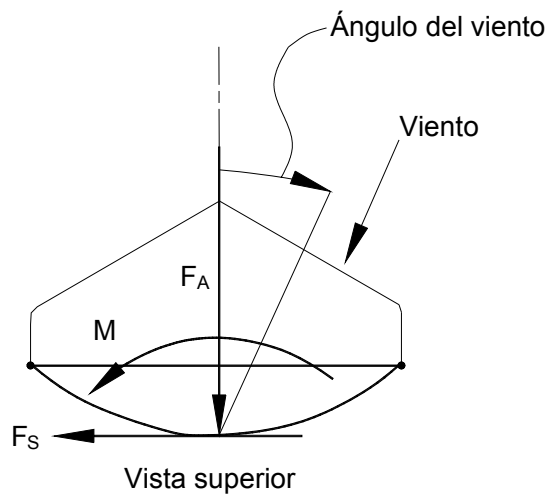
Tabla B6. Coeficientes para calcular la fuerza de viento en reflectores pasivos típicos

ÁNGULO DEL VIENTO Θ (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

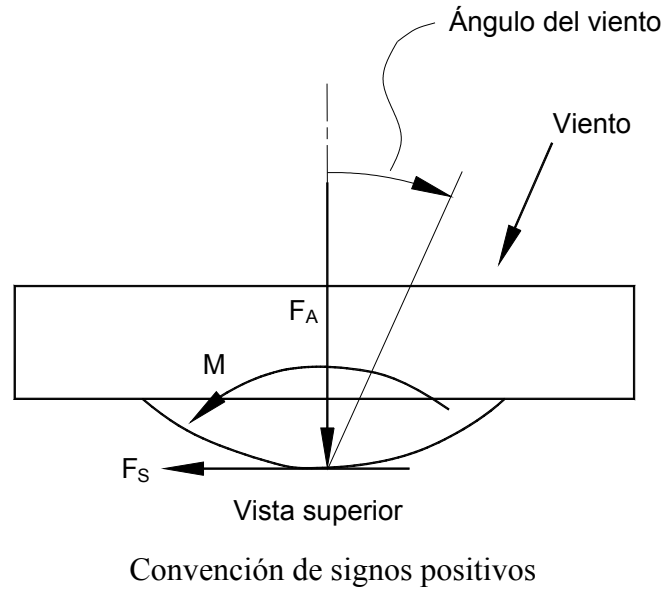


Figura B3. Fuerzas de viento en paraboloides con protectores cilíndricos

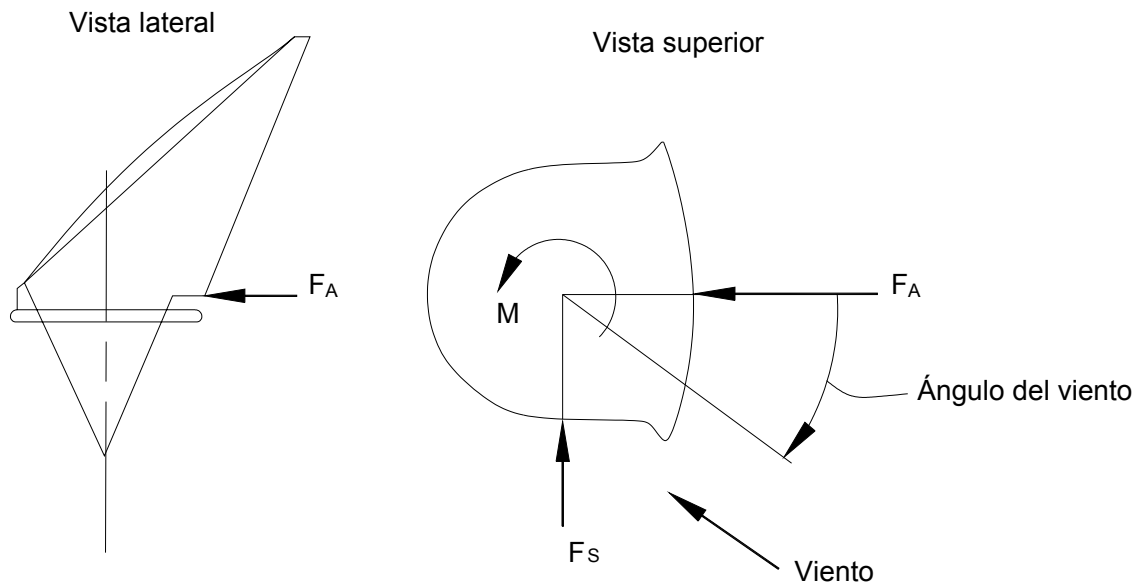
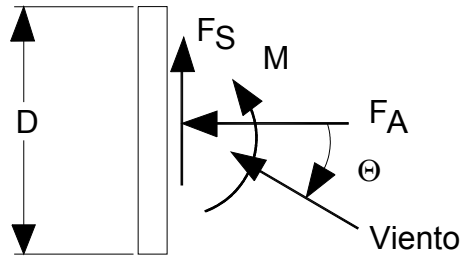


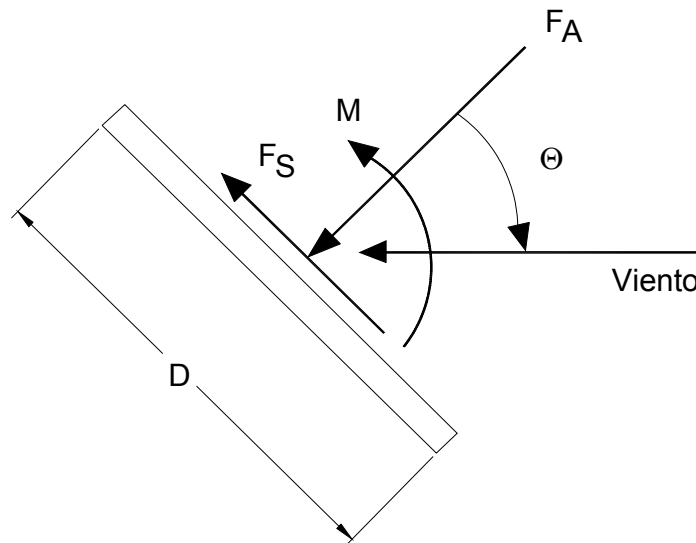
Figura B4. Fuerzas de viento en antenas de reflector de bocina cónica



(VISTA SUPERIOR)

Θ = Ángulo horizontal del viento
 D = Ancho del reflector

(A) PLACA VERTICAL



(VISTA LATERAL)

Θ = 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

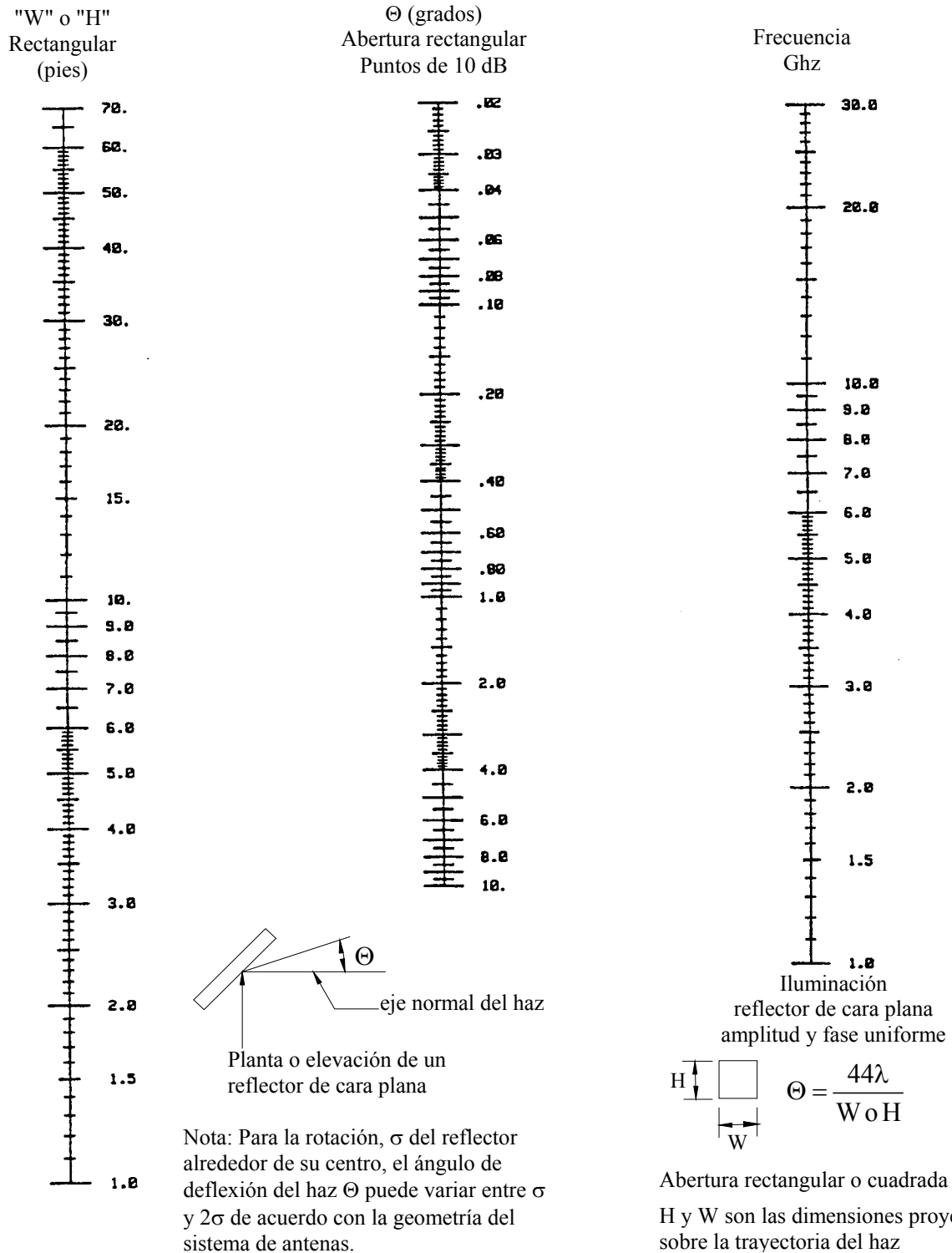
ANEXO C: TABLA DE VALORES ADMISIBLES DE TORSIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL PARA ANTENAS PARABÓLICAS, REFLECTORES PASIVOS Y REFLECTORES DE SISTEMA PERISCÓPICO

A	B	C D		E F		G H I		
		Antenas parabólicas		Reflectores pasivos		Reflectores de sistema periscópico		
Ancho de haz a 3 dB 2 Θ 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
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.

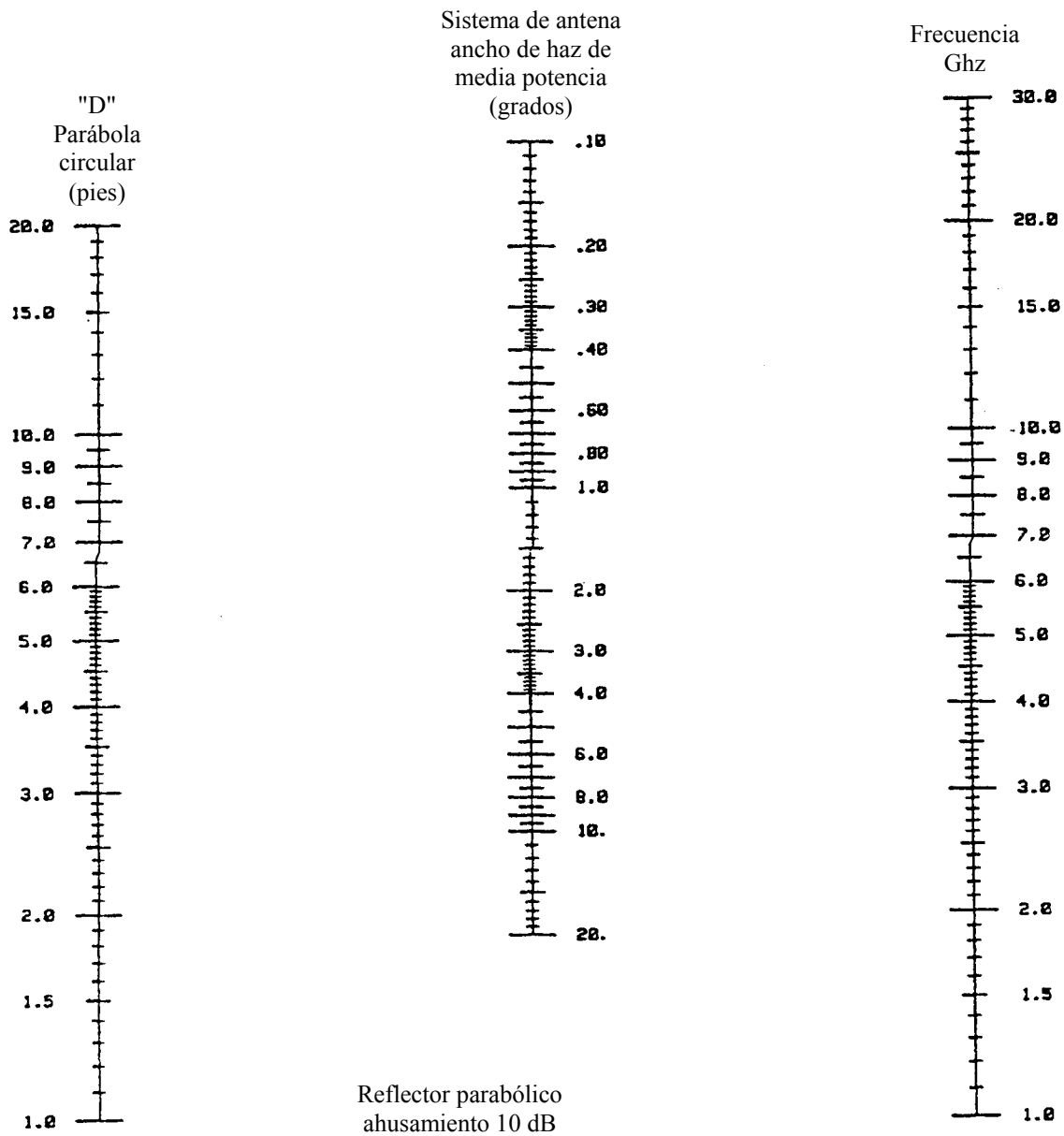
Notas:

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 2Θ 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, 2Θ 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 Θ en los puntos de 10 dB.

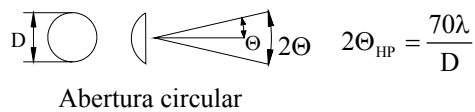


NOMOGRAMA, ÁNGULO DE DEFLEXIÓN, Θ
EN PUNTOS DE 10 dB PARA ABERTURA RECTANGULAR
(REFLECTOR DE CARA PLANA)

Figura C1

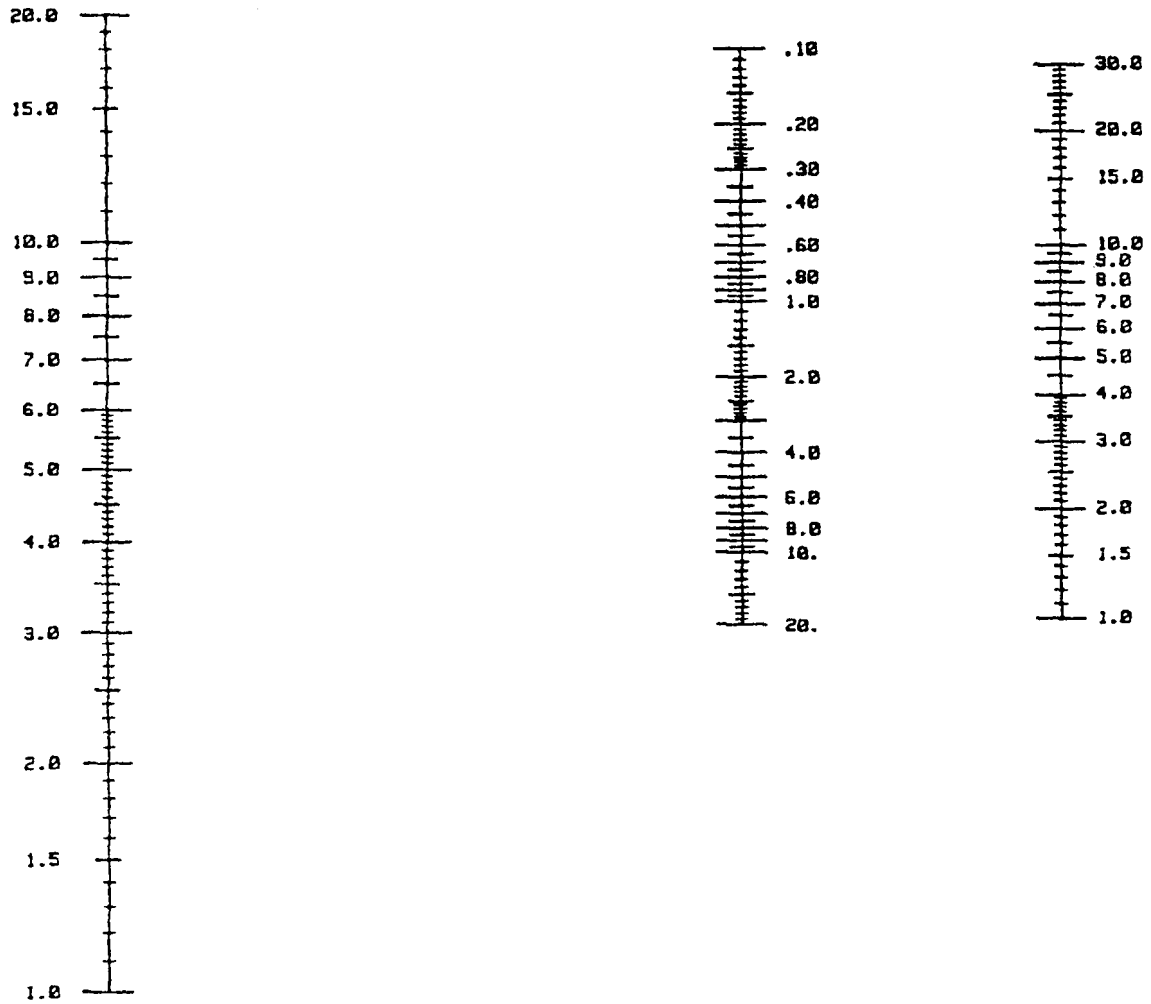


Reflector parabólico
ahusamiento 10 dB

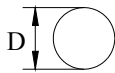


NOMOGRAMA, ANCHO DE HAZ NOMINAL
PUNTOS DE 3dB
(REFLECTOR PARABÓLICO TÍPICO)

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, Θ
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 Θ se debería determinar como se ilustra en las Figuras D1 ó D2. Para las antenas asimétricas, incluyendo las antenas de reflector de bocina, Θ determinará solamente la torsión horizontal y el ancho de haz de la antena determinará la torsión vertical. Para las antenas simétricas Θ determinará tanto la torsión horizontal como la torsión vertical.

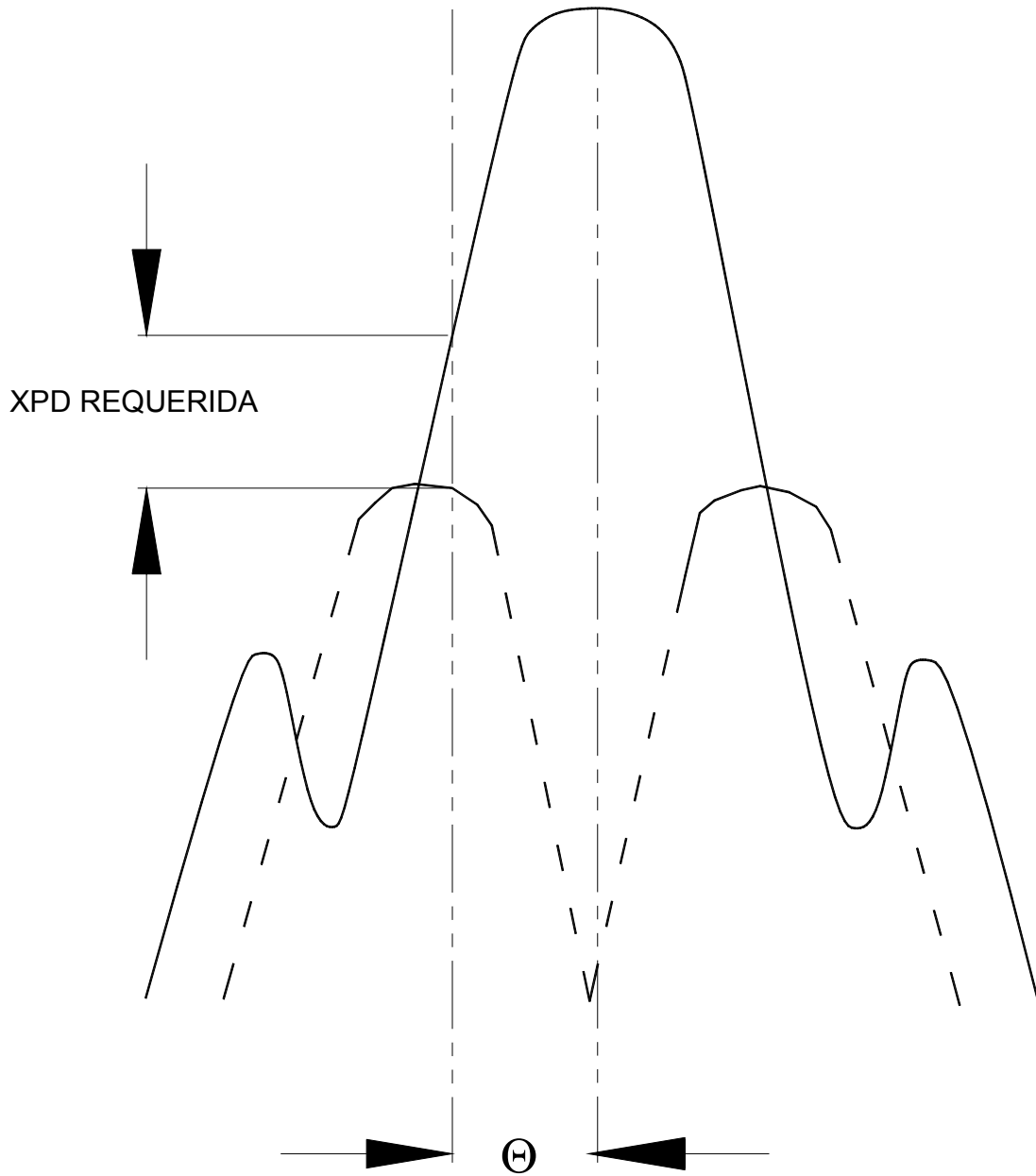


Figura D1. Antena asimétrica

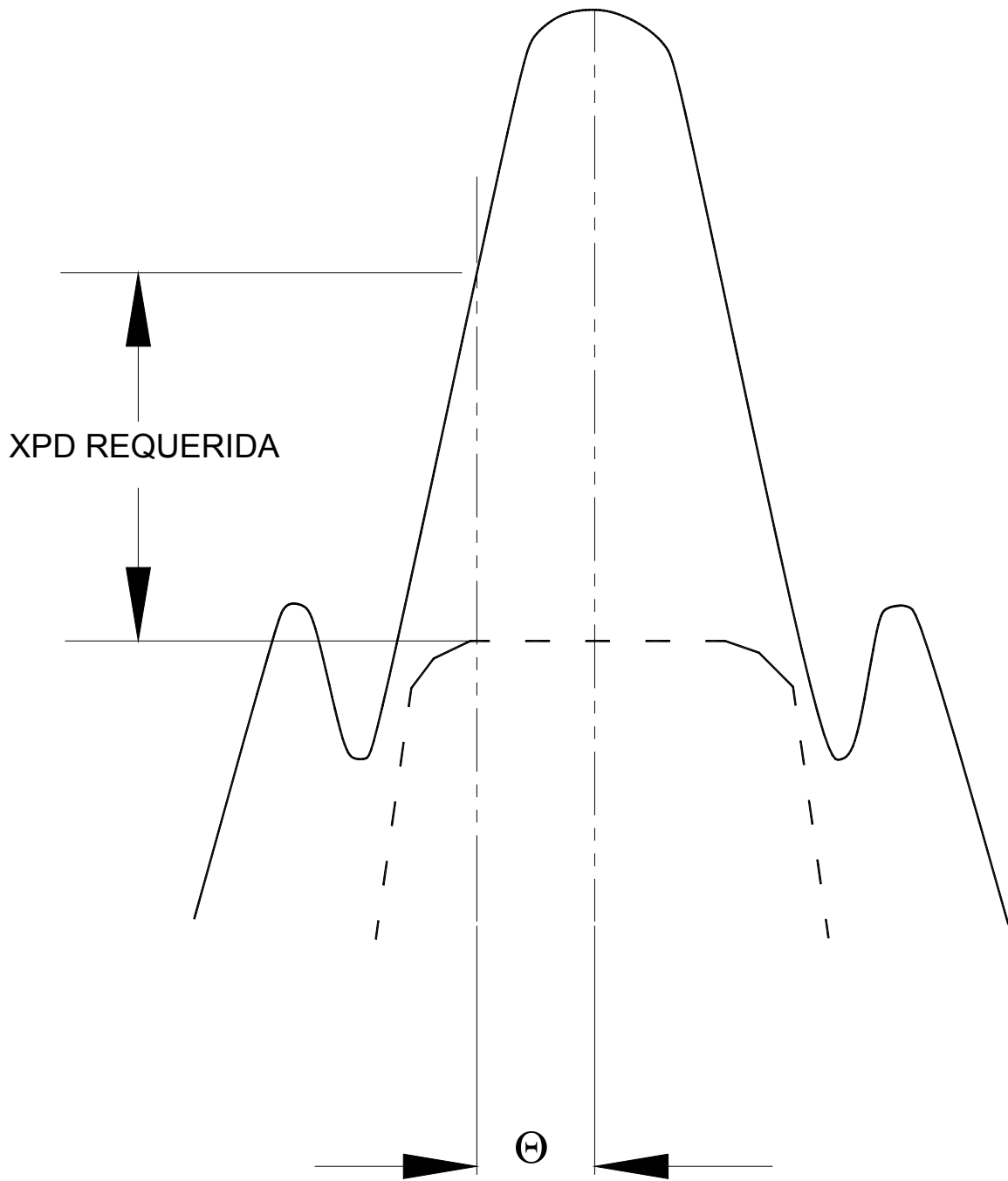


Figura D1. Antena simétrica

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, 2Θ 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 Θ 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.

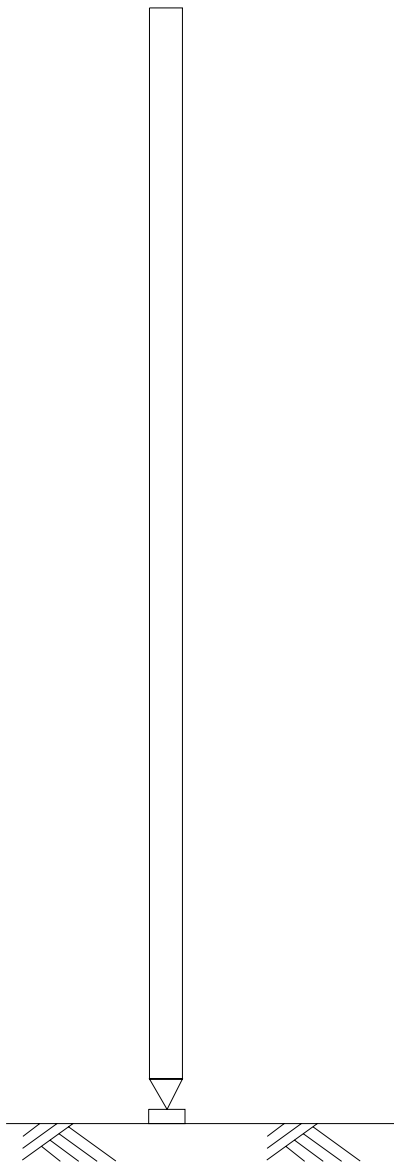


Figura E1

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

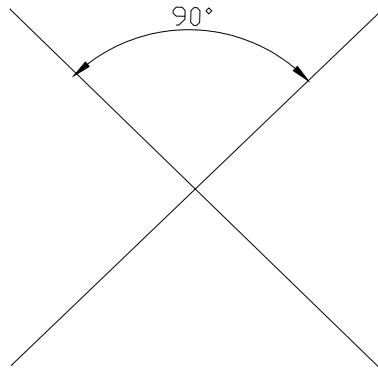
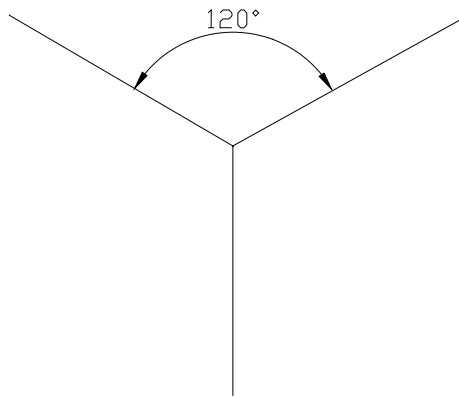


Figura E2

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

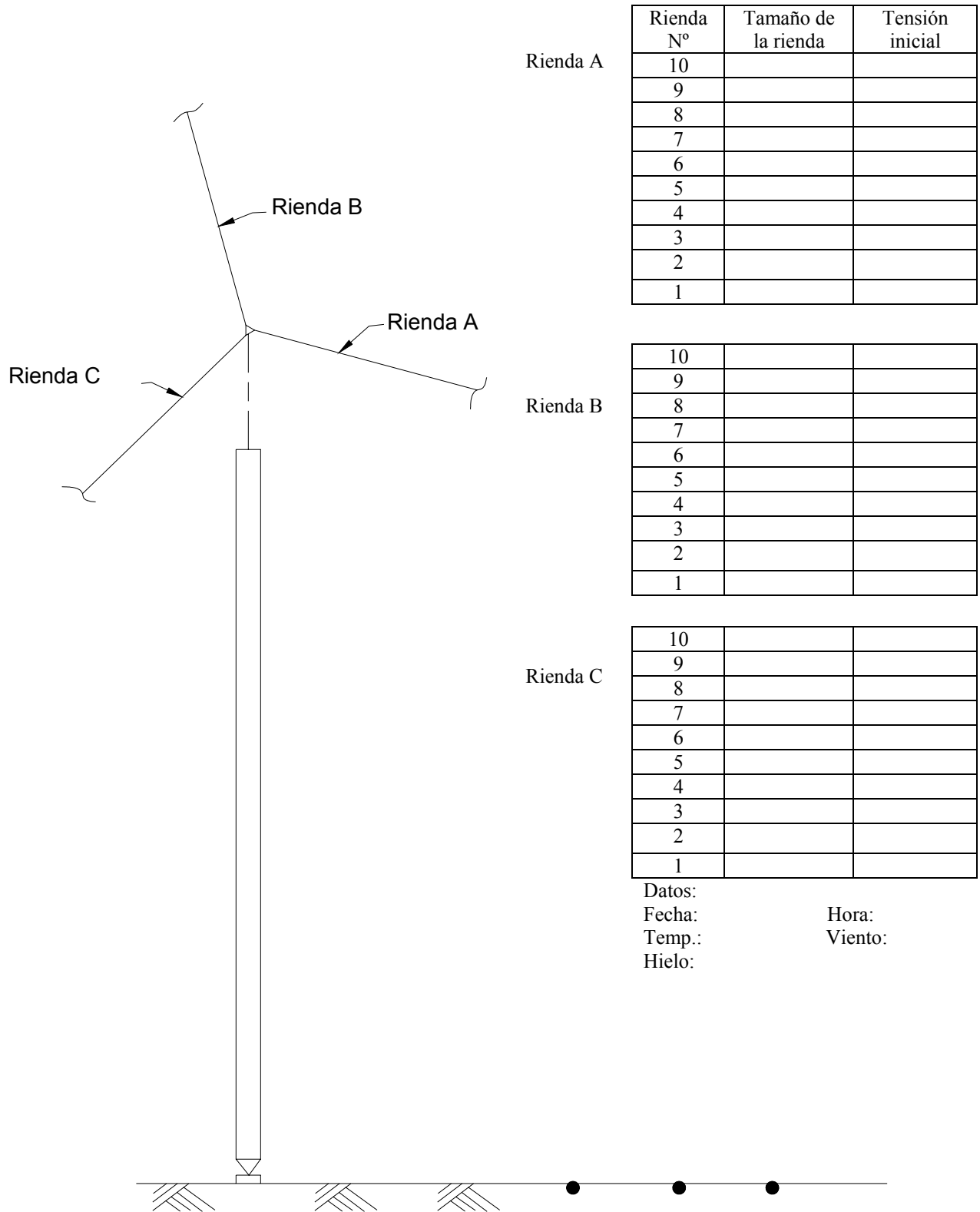


Figura E4

TORRE ARRIENDADA EN CUATRO DIRECCIONES

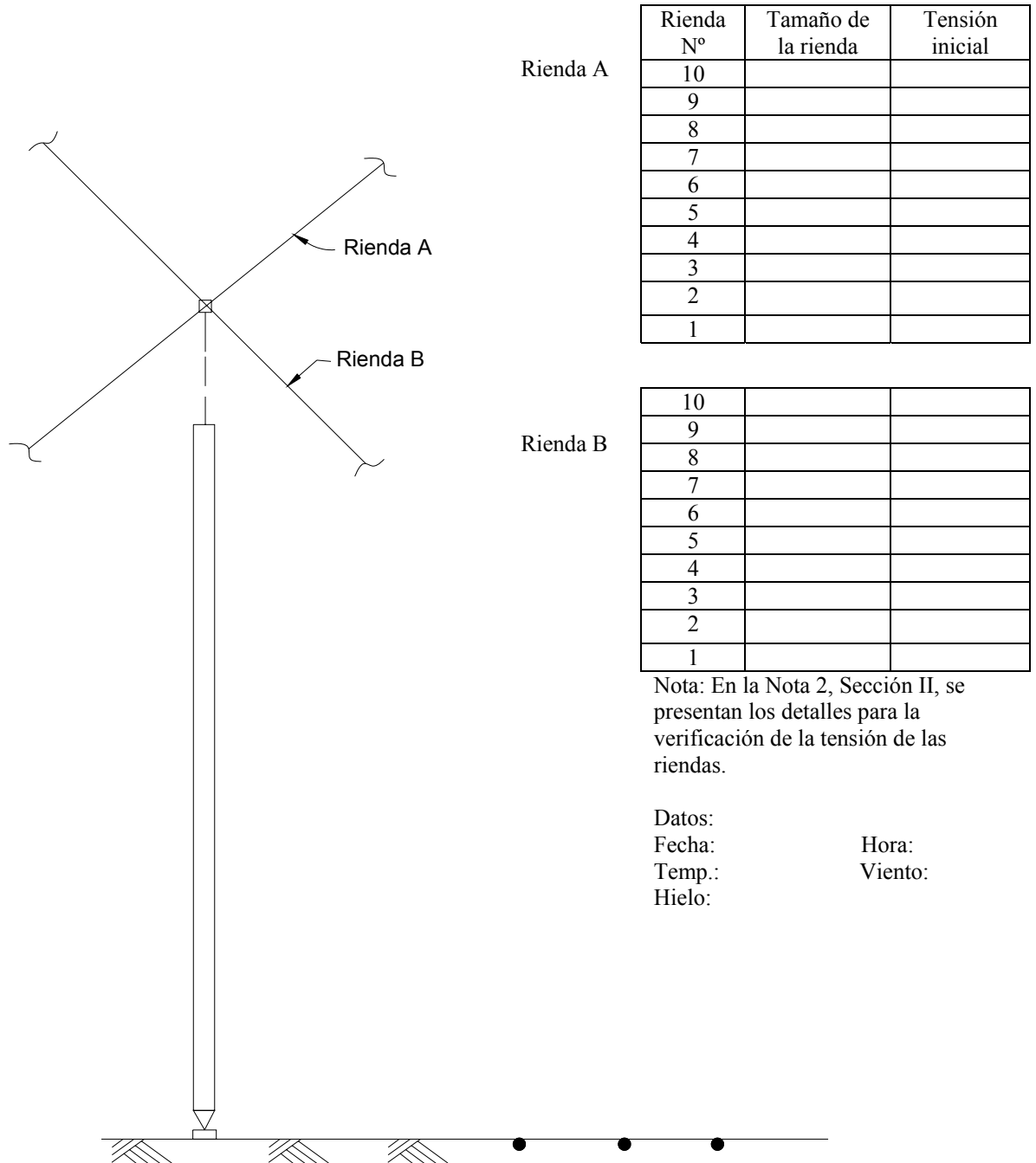


Figura E5

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:

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

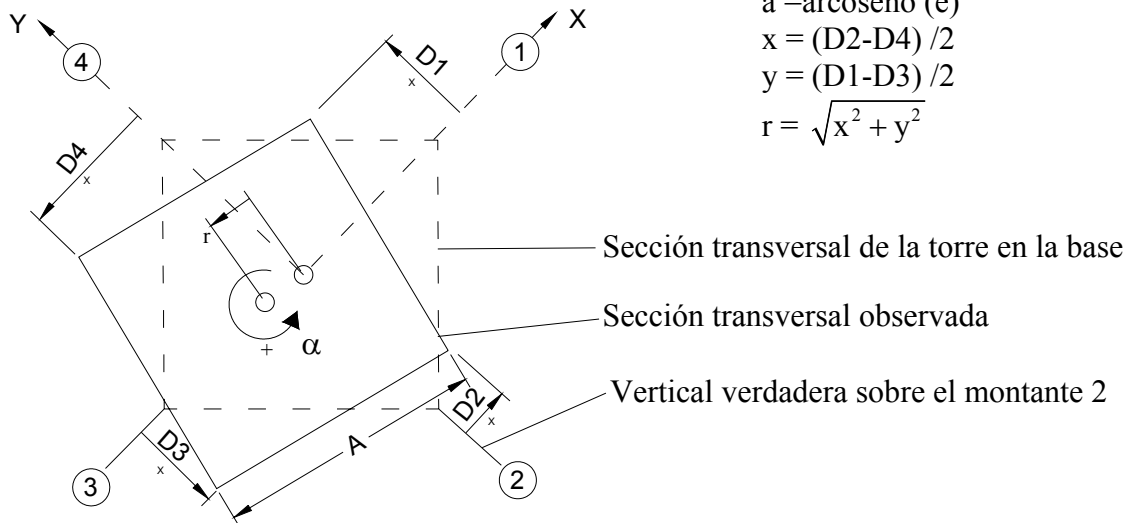
$$e = (d\sqrt{2}) / A$$

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

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

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

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



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:

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

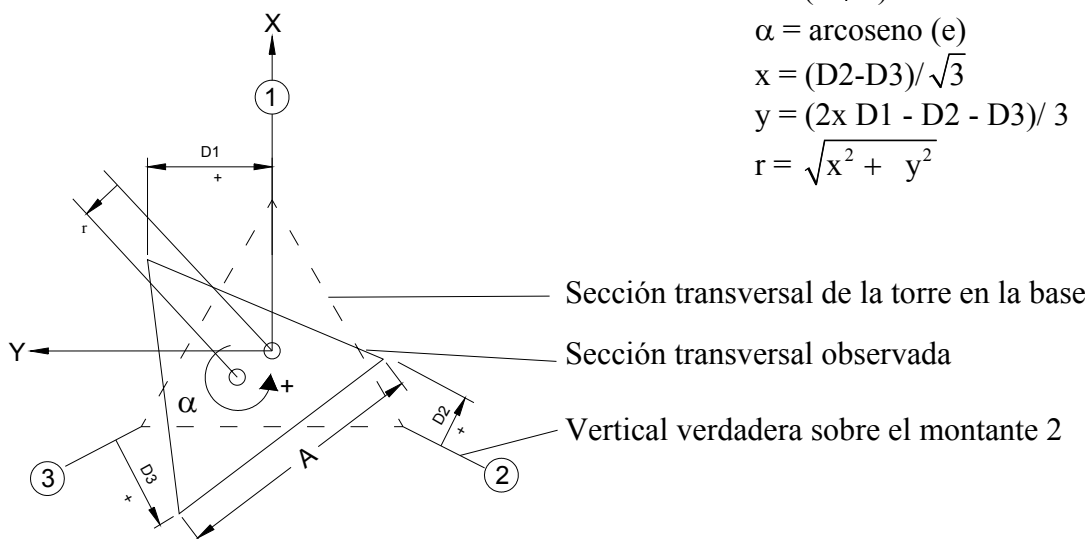
$$e = (d\sqrt{3}) / A$$

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

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

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

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



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	alpha 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

α = Ángulo de la rienda en el anclaje (ver Figura E9)

Observar que

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

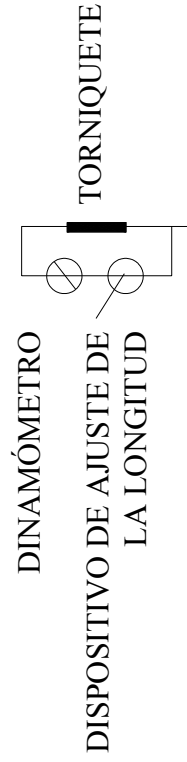
y que

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

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

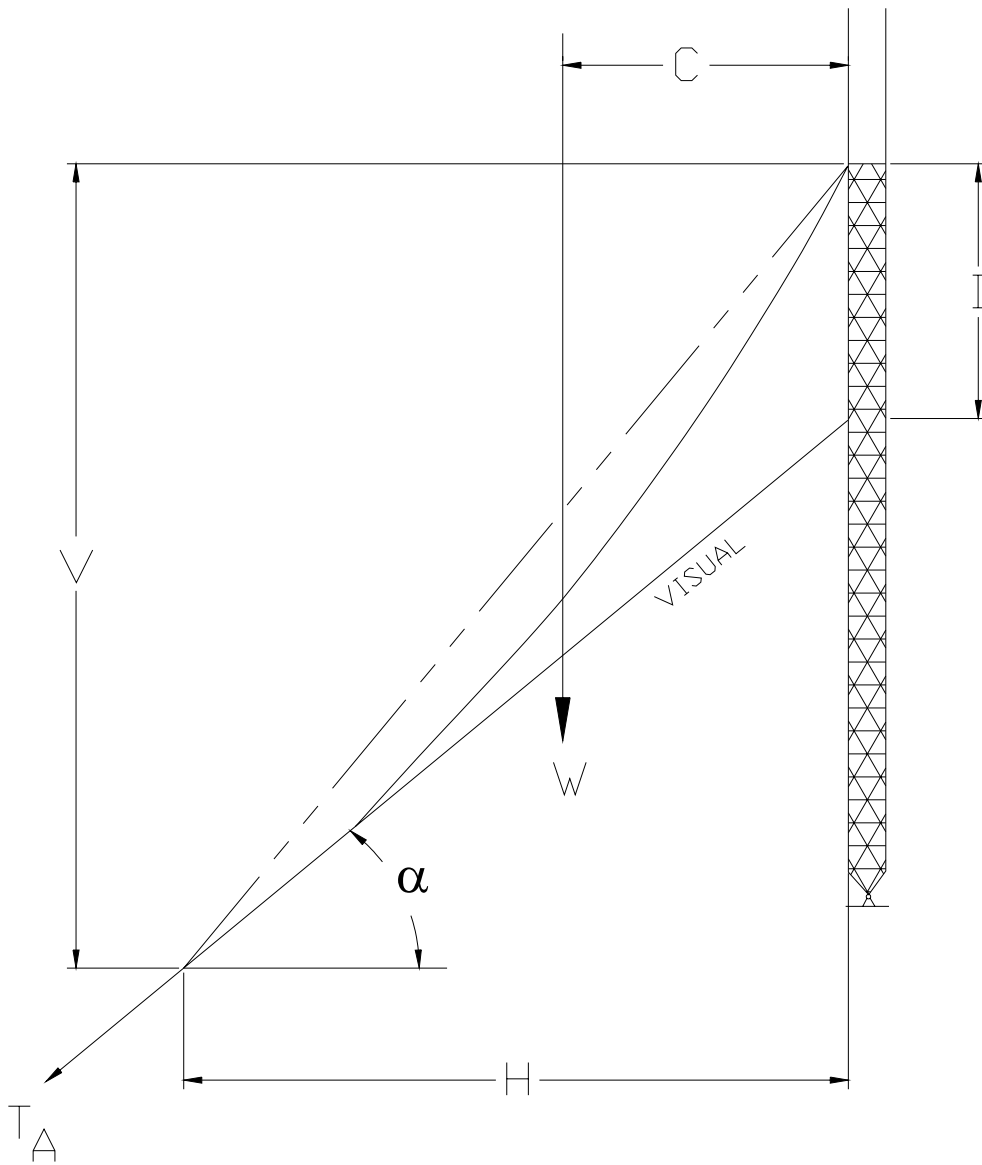


Figura E9. Método de intercepción de la tangente

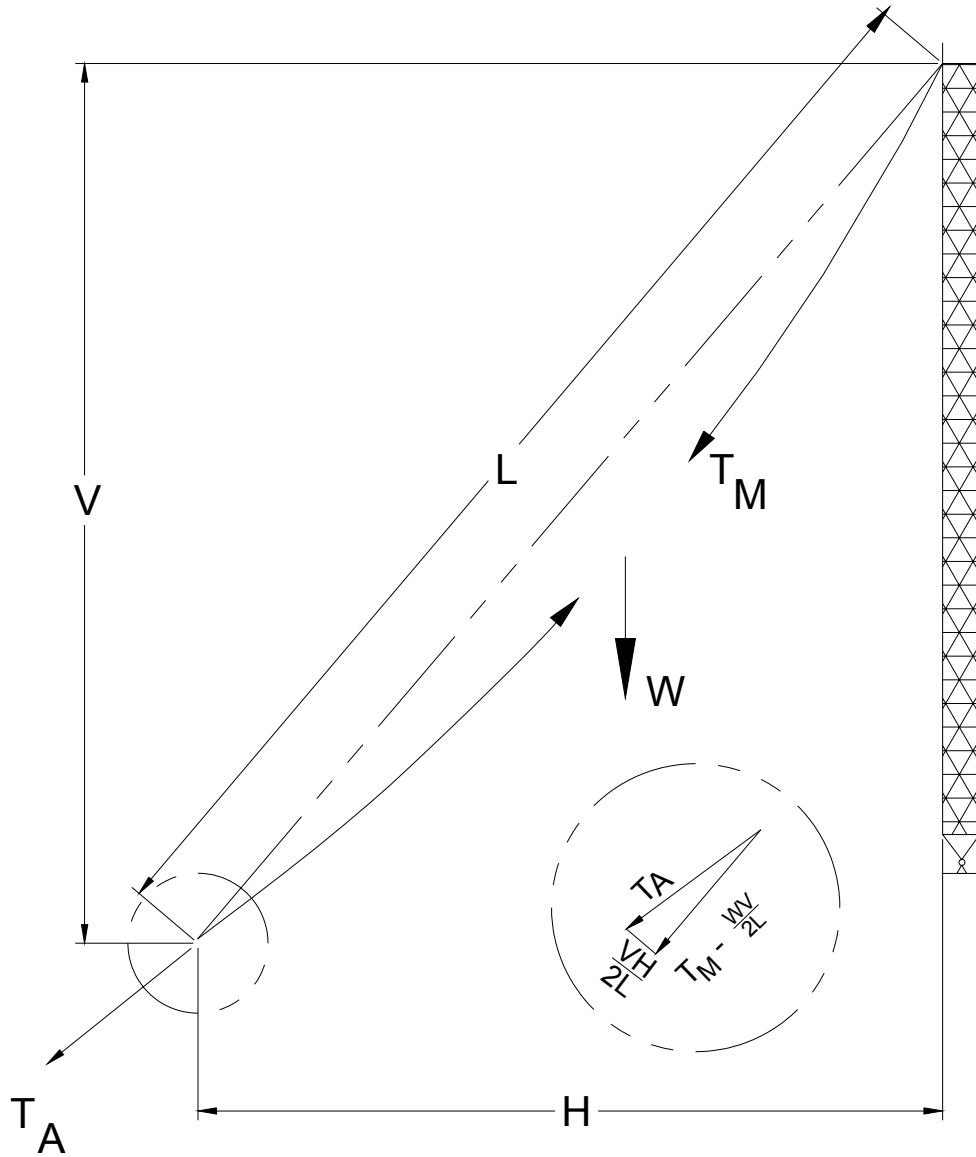


Figura E10. Relación entre la tensión de la rienda en el anclaje y a la mitad de su longitud

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 ²)	metros cuadrados (m ²)	0,0929
pies cúbicos (ft ³)	metros cúbicos (m ³)	0,0283
libras [fuerza] (lb)	newtons (N)	4,4482
libras por pie cúbico [peso] (pcf)	kilonewtons por metro cúbico (kN/m ³)	0,1571
libras por pie cuadrado (lb/ft ²)	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 ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾

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

⁽¹⁾ *Atmospheric Icing on Structures*. Boyd & Williams.

⁽²⁾ *Draft Guidelines for Transmission Line Structural Loadings*. ASCE.

⁽³⁾ 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 lb/ft^3 [3 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 lb/ft^3 [9 a 3 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 lb/ft^3 [9 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 empaquetado 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.

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