



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO ESTRUCTURAL DE LAS ESTRUCTURAS DE
TRANSICIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIÓN
EN AZOTEAS DE EDIFICACIONES**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

Ferreira Gómez, Susana

Ponte Abou Samra, Leonardo A.

PROFESOR GUÍA

Ing. Gutiérrez, Arnaldo

FECHA

Caracas, Octubre de 2014

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO ESTRUCTURAL DE LAS ESTRUCTURAS DE
TRANSICIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIÓN
EN AZOTEAS DE EDIFICACIONES**

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha
evaluado su contenido con el resultado: VEINTE (20) PUNTOS

JURADO EXAMINADOR

Firma: 	Firma: 	Firma: 
Nombre: <u>Syfrido Lopez</u>	Nombre: <u>Arnaldo Gutierrez</u>	Nombre: <u>Luis Nunez</u>

REALIZADO POR

Ferreira Gómez, Susana

Ponte Abou Samra, Leonardo A.

PROFESOR GUÍA

Ing. Gutiérrez, Arnaldo

FECHA

Noviembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecer a Dios y a la virgencita, por no abandonarme nunca en el camino, dándome confianza en mí misma a pesar de los obstáculos, “el que persevera alcanza”, la dedicación siempre trae consigo buenos resultados.

A mi abuela por su comprensión y amor incondicional, por ser ejemplo de esfuerzo y dedicación para mí. Te amo abuelita, nunca existirán palabras para agradecerte lo grande que has sido para mí siempre. Este TEG te lo dedico a ti.

Gracias a mis padres, por haberme brindado una excelente educación, por sus sacrificios para que yo alcanzara esta meta y por todo su cariño, los amo.

A mi hermanita Sara, que por su corta edad me recordaba que nunca existe un problema tan importante como para dejar de sonreír, ella ha podido enseñarme cosas que nunca hubiera aprendido en un salón de clases. ¡Te adoro hermanita!

A Leonardo mi compañero de TEG y novio, por ser “mi equipo”, por hacerme saber que siempre puedo dar más, por su amor incondicional y sus palabras que calman mis nervios.

Al Profesor e Ingeniero Arnaldo Gutiérrez, por ser una persona dedicada, la UCAB no sabe al gran profesional y persona que ha dejado ir, nunca encontrarán a alguien como usted. Gracias por su labor como tutor de este TEG y por su apoyo en todo momento, incluso en los instantes de desesperación.

Muchas gracias por la ayuda prestada a las empresas PRINCIVI, DIGITEL y otras.

Susana Ferreira.

Primero quiero agradecer a Dios por guiarme en todo momento y darme fuerza cuando las cosas se pusieron difíciles durante la carrera y durante mi vida.

Agradezco especialmente a mis padres, por haberme apoyado durante toda mi vida y mi carrera universitaria, por la educación, los buenos consejos que siempre me dieron y su amor incondicional, son mi gran apoyo, a ellos les dedico este trabajo. Los amo.

A mis queridos abuelos por haberme cuidado y apoyado durante toda la carrera y toda mi vida. Muchas gracias.

A mis hermanos por estar siempre allí motivándome cada día a dar lo mejor de mí para demostrar todo de lo que soy capaz.

A Susana mi compañera de TEG y hermosa novia, por su dedicación, perseverancia y por su amor incondicional.

Gracias al Ingeniero Arnaldo Gutiérrez, como tutor de tesis y como persona le estaré siempre agradecido por confiar en mí, por apoyarme día tras día, por toda su ayuda y empeño durante la elaboración de este trabajo. Quiero hacer énfasis en su desempeño como tutor y profesor de la UCAB, que ha dejado ir a un gran profesional de la ingeniería civil.

Muchas gracias a los profesionales y empresas que nos orientaron en este trabajo.

Leonardo Ponte.

INDICE

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	I
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE GRÁFICOS	IX
INDICE DE ANEXOS.....	X
SINOPSIS	XI
NOTACIÓN.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPITULO I. EL PROBLEMA.....	1
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
I.2 ANTECEDENTES	2
I.3 ALCANCES Y LIMITACIONES	4
I.4 OBJETIVOS	5
I.4.1 Objetivo General.....	5
I.4.2 Objetivos Específicos	6
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.	7
II.1 TIPOS DE TORRES DE TELECOMUNICACIÓN	7
II.1.1 Torres autoportadas	7
II.1.1.1 Torres autoportadas de sección cuadrada y constante	8
II.1.1.2 Torres autoportadas de sección cuadrada y variable.....	8
II.1.1.3 Torres autoportadas de sección triangular y constante	9

INDICE

II.1.1.4 Torres autosoportadas de sección triangular y variable	10
II.1.1.5 Torres autosoportadas de sección hexagonal u octogonal constante	11
II.1.2 Monopostes	12
II.1.3 Torres arriostradas, atirantadas o venteadas.....	14
II.2 PARTES DE UNA TORRE DE TELECOMUNICACIÓN.....	17
II.2.1 Estructura de la torre	17
II.2.2 Sistema de protección contra descargas atmosféricas.....	18
II.2.2.1 Pararrayos	20
II.2.2.1.1 Pararrayos tipo Franklin.....	22
II.2.2.1.2 Pararrayos tipo dipolo corona	23
II.2.2.2 Conductor de descarga.....	24
II.2.3 Sistema de puesta a tierra o aterramiento.....	24
II.2.3.1 Barra de Aterramiento o Barra TGB (<i>Tower Ground Bus Bar</i>).....	28
II.2.3.2 Anillo de puesta a tierra	29
II.2.3.3 Electrodo	29
II.2.4 Balizamiento o señalamiento nocturno	30
II.2.5 Pintura de iluminación o señalamiento diurno	31
II.2.6 Plataformas.....	32
II.2.6.1 Plataformas de trabajo	32
II.2.6.2 Plataformas de descanso	32
II.2.7 Accesorios para ascenso.....	32
II.2.8 Guía de ondas	36
II.2.9 Escalerilla vertical y horizontal de guía de onda.....	37

INDICE

II.2.10	Placa de Identificación.....	38
II.2.11	Antenas	39
II.2.11.1	Antenas Parabólicas	40
II.2.11.2	Antenas Impresas o Paneles Celulares	42
II.2.11.3	Antenas Dipolo.....	44
II.2.11.4	Antenas Yagui.....	44
II.3	MATERIALES UTILIZADOS EN LAS TORRES DE TELECOMUNICACIÓN.	46
II.3.1	Perfiles de la estructura de la torre	46
II.3.1.1	Componentes de la unión de los perfiles de la torre.....	47
II.3.1.2	Tipos de Conexiones.	48
II.3.2	Plancha Base.....	51
II.3.3	Anclajes	51
II.3.3.1	SAE 1020	52
II.3.3.2	SAE 1045	53
II.3.3.3	Barra petrolera A193 Grado B7	53
II.3.3.4	Pernos químicos	54
II.3.4	Sistema de Puesta a Tierra.....	54
II.3.4.1	Electrodos.....	57
II.3.4.2	Barra TGB (<i>Tower Ground Bus Bar</i>).....	57
II.3.5	Balizamiento o sistema de iluminación nocturna	59
II.3.6	Pintura de iluminación y señalamiento diurno	59
II.3.7	Plataformas de descanso y trabajo.....	60
II.3.8	Escalera de acceso para el personal	60

INDICE

II.3.9	Escalerillas para guías de onda	61
II.3.9.1	Escalerillas verticales.....	61
II.3.9.2	Escalerillas horizontales.....	62
II.3.10	Soportes de equipos.....	62
II.3.10.1	Soporte de antenas parabólicas	62
II.3.10.2	Soporte de paneles celulares	64
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		65
III.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	65
III.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
III.3	PROCEDIMIENTO.	66
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE TRANSICIÓN.....		68
IV.1	ESTRUCTURAS DE TRANSICIÓN	68
IV.2	DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS DE TRANSICIÓN.....	74
IV.2.1	Verificación de la viga de Acero.....	75
IV.2.2	Efecto de las Cargas Concentradas	76
IV.2.3	Plancha de Asiento y Pernos de Anclaje.....	78
IV.2.4	Plancha Base para unión de Estructura de Transición y Edificación.....	80
CAPITULO V. DESARROLLO		82
V.1	CASO DE ESTUDIO HIPOTÉTICO	82
V.2	CARGAS PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	85
V.2.1.1	Acción del Viento	85
V.2.1.2	Carga por Sismo.....	86
V.3	CÁLCULOS Y RESULTADOS	87

INDICE

V.3.1	Reacciones en los apoyos de la torre	88
V.3.2	Selección de perfil para Estructura de Transición	88
V.3.3	Deriva	89
V.3.4	Efecto de las Cargas Concentradas	90
V.3.5	Pernos de Anclaje y Plancha de Asiento	91
V.3.6	Plancha Base	92
V.4	EFECTO DEL VIENTO	93
V.5	EFECTO DEL SISMO	95
CAPITULO VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
VI.1	CONCLUSIONES	98
VI.2	RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	106

INDICE

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1 Propiedades de los pernos.....	48
Tabla II.2 Relación de esbeltez efectiva para miembros principales de torres.....	49
Tabla II.3 Diseño de arriostramientos en torres	50
Tabla II.4 Características de cables de cobre para aterramiento.....	54
Tabla V.1 Fuerza de Viento sobre Nodos de las Montantes.....	85
Tabla V.2 Aceleraciones del Espectro de Respuesta de la Edificación y Espectro de Piso de la Torre	87
Tabla V.3 Reacciones de la Torre	88
Tabla V.4 Vigas de Estructura de Transición IPE en Acero ASTM-A36.....	89
Tabla V.5 Verificación de Perfil Seleccionado.	89
Tabla V.6 Estado Límite de Servicio.....	89
Tabla V.7 Deriva en nodos superiores.....	90
Tabla V.8 Cálculo de rigidizadores	90
Tabla V.9 Cálculo de Pernos y Plancha de Asiento	92
Tabla V.10 Verificación de la Plancha Base	92
Tabla V.11 Fuerzas de Viento	95
Tabla V.12 Corte Basal	96

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1 Torre autosoportada cuadrada de sección constante sobre azotea.	8
Figura II.2 Torre autosoportada cuadrada de sección variable sobre azotea.....	9
Figura II.3 Torre autosoportada triangular de sección constante sobre terreno.	10
Figura II.4 Torre autosoportada triangular de sección variable sobre azotea.	11
Figura II.5 Monoposte de sección variable sobre terreno.	12
Figura II.6 Monoposte de sección constante sobre azotea.	13
Figura II.7 Monoposte mimetizado sobre terreno.	14
Figura II.8 Torre arriostrada sobre techo,	16
Figura II.9 Estructura de la torre.	18
Figura II.10 Pararrayos tipo Franklin con varias puntas.	22
Figura II.11 Pararrayos tipo dipolo corona	23
Figura II.12 Puesta a tierra de montante de torre.	28
Figura II.13 Barra TGB.....	29
Figura II.14 Balizamiento.	30
Figura II.15 Escalera de ascenso central.	34
Figura II.16 Escalerillas verticales de guía de onda en toda la longitud de la torre.	37
Figura II.17 Escalerillas horizontales de guía de onda.....	38
Figura II.18 Geometría de una Antena Parabólica.....	40
Figura II.19 Diagrama de Radiación de Antena Parabólica.....	41
Figura II.20 Antena de parche microstrip.	42
Figura II.21 Antenas de microstrip en monoposte.	43

INDICE

Figura II.22 Antenas dipolo en torre de telecomunicación.....	44
Figura II.23 Forma básica de una antena Yagi-Uda.....	45
Figura II.24 Componentes de un unión emperrada en torres de telecomunicación.....	48
Figura II.25 Sistema puesta a tierra de torre sobre edificio de una torre.....	55
Figura II.26 Sistema puesta a tierra de antena sobre edificio de antena.....	55
Figura II.27 Descripción de los componentes del sistema de puesta a tierra en general.....	56
Figura II.28 Barra TGB y EGB.....	58
Figura II.29 Conexión la barra TGB las guías de ondas.....	58
Figura II.30 Localización del kit de puesta a tierra en la línea de transmisión.....	59
Figura II.31 Torre con múltiples antenas parabólicas, se observa la configuración de su soporte... 63	63
Figura II.32 Soporte de antena parabólica en dos montantes.....	63
Figura II.33 Detalle de soporte para antena parabólica en una montante.....	64
Figura II.34 Soporte de paneles celulares.....	64
Figura II.35 Soporte para paneles celulares en monoposte.....	64
Figura IV.1 Sistemas de contrapeso para torre.....	69
Figura IV.2 Soporte en forma de Trípode con perfiles angulares para Monopolo.....	70
Figura IV.3 Torre anclada directamente sobre la losa de techo de la edificación.....	71
Figura IV.4 Foto de torre y estructura de transición.....	72
Figura IV.5 Torre con estructura de transición anclada horizontalmente al núcleo de ascensores. . 73	73
Figura IV.6 Detalle de estructura de transición anclada al núcleo de ascensores.....	73
Figura IV.7 Vista en planta de dos vigas paralelas apoyadas sobre las vigas existentes de la edificación.	74
Figura IV.8 Falla del Alma por Carga Puntual.....	78

INDICE

Figura IV.9 Pandeo del Ala por Carga Puntual.....	78
Figura IV.10 Plano conjunto, viga, pernos y plancha de unión.	80
Figura V.1 Plano de planta de ejemplo propuesto.	83
Figura V.2 Modelo en 3D de la torre propuesta.....	84
Figura V.3 Vista de Perfil de torre Propuesta.	84

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico II.I Valores del factor de longitud efectiva.	51
Gráfico V.I Diagrama de Fuerzas de Viento.....	94
Gráfico V.II Espectros de diseño	95

*INDICE***INDICE DE ANEXOS**

ANEXO A: GUÍA METODOLÓGICA PARA HACER UNA TORRE DE TELECOMUNICACIÓN	107
ANEXO B: TABLA COMPARATIVA DE VALORES DE DISEÑO	113
ANEXO C: EJEMPLO NUMÉRICO.....	114
ANEXO D: EJEMPLO ESPECTRO DE PISO.....	127
ANEXO E: COMPARACIÓN NORMA COVENIN 1756:2001 Y CANTV NT-002:2007	131
ANEXO F: GRÁFICAS DE ALTURA VS SISMO Y VIENTO.....	133
ANEXO G: INDICE DEL CONTENIDO DEL CD	135

*SINOPSIS***PROYECTO ESTRUCTURAL DE LAS ESTRUCTURAS DE
TRANSICIÓN DE TORRES DE TELECOMUNICACIÓN EN AZOTEAS
DE EDIFICACIONES.****Trabajo Especial de Grado****Autores:**

Br. Ferreira, Susana

Br. Ponte, Leonardo

Tutor:

Ing. Gutiérrez, Arnaldo

SINOPSIS

El presente Trabajo Especial de Grado (TEG), tiene como objeto principal, documentar y comparar las metodologías de proyecto (análisis, diseño y detallado) utilizadas por los fabricantes o calculistas de torres de telecomunicación, para garantizar el empotramiento de las torres en las azoteas de edificaciones, cumpliendo con los requisitos de las normas ANSI/TIA 222-G *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas* y CANTV NT-001:2007 *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*.

La investigación es de tipo exploratoria, mediante el modelado con los métodos de la teoría del análisis y el diseño estructural. Se utilizó el software de última generación para cálculo estructural SAP 2000, por lo tanto no se efectuaron ensayos de laboratorio. La información recolectada para la elaboración de este TEG proviene de una amplia investigación de material bibliográfico, numerosos trabajos de investigación anteriores y entrevistas realizadas.

En este Trabajo Especial de Grado se suministra una información completa de los tipos de torres de telecomunicaciones, sus partes y los materiales utilizados para su construcción,

SINOPSIS

por lo que este documento puede servir de aporte a los profesionales tanto del área de Ingeniería Civil como de Ingeniería en Telecomunicaciones.

También se ofrece un material amplio referente al análisis, diseño y detallado de una estructura de transición de torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones, siguiendo normativas vigentes nacionales e internacionales como CANTV NT-001:2007, CANTV NT-002:2007, COVENIN 1756-1:2001 y AISC 360-10. Este material es útil para el cálculo de estructuras de transición similares.

Se documentan diferentes tipos de soluciones que se presentan al momento de instalar las torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones, lo que resulta interesante y proporciona una idea de las distintas soluciones que se pueden adoptar ante diferentes configuraciones de edificación.

Una conclusión importante que se obtuvo de la realización del presente Trabajo Especial de Grado, es que no es posible estandarizar completamente las estructuras de transición, ya que las mismas deben estar adaptadas a las necesidades del sitio en el cual se desea instalar la torre de telecomunicación, sin embargo, se puede estandarizar los requisitos mínimos que debería cumplir la estructura de apoyo o transición, lo que representa un aporte significativo en vista del aumento actual de la necesidad de utilización de edificaciones para la colocación de torres de telecomunicación.

Se pretende que el trabajo realizado represente el punto de partida de futuras investigaciones relacionadas con el tema tratado, ya que la desinformación existente en el país con respecto a este tópico, ha llevado a la mala práctica de la ingeniería en algunos casos, lo que puede generar, a corto o largo plazo, el colapso de torres instaladas sobre azoteas de edificaciones, produciendo interrupción en la comunicación de sectores importantes, afectando las labores cotidianas de los habitantes, y pudiendo inclusive acarrear en importantes pérdidas materiales y humanas.

NOTACIÓN

NOTACIÓN

A	Área total de una cara considerada sólida.
Ad,a	Ordenada del espectro de piso dividida por la aceleración de gravedad (g).
Ad,s	Ordenada del Espectro Elástico correspondiente al modo fundamental de la edificación dividida por la aceleración de gravedad (g).
Ad,p	Ordenada del Espectro Elástico en el tope de la edificación.
Ad,t	Corrección de la ordenada del Espectro Elástico en el tope de la edificación por efecto de los modos superiores.
Aep	Área efectiva proyectada.
(Aep)a	Área efectiva proyectada de los accesorios.
Ao	Coefficiente de aceleración horizontal.
C	Factor de modificación por pandeo lateral torsional para diagramas de momento no uniforme.
Ca	Coefficiente para accesorios.
Cf	Coefficiente para estructuras.
CP	Efectos debidos a las cargas permanentes, excluyendo las guayas de anclaje.
CT	Efectos debidos a cambios de temperatura y/o asentamientos diferenciales.
CV	Efectos debidos a las cargas variables.
D	Diámetro exterior de la antena de microondas, m.
Df	Factor de dirección del viento para componentes estructurales planos.
E	Módulo de elasticidad del acero de refuerzo, kgf/cm ² .
Fa	Fuerza de diseño del viento sobre los accesorios.
Fam	Fuerza axial que actúa en el eje longitudinal de la antena.
Fst	Fuerza de diseño del viento sobre la estructura.
Fw	Fuerza de Diseño del Viento, kgf.
Fsu	Resistencia de agotamiento especificada del acero de refuerzo, kgf/cm ² .
Fy	Esfuerzo cedente especificado para el acero de refuerzo.
Gh	Factor de respuestas ante ráfagas.
Kd	Factor de probabilidad de direccionalidad del viento.
Ke	Constante del terreno según el tipo de Exposición.
Kz	Coefficiente de exposición a la presión dinámica del viento.
Kts	Factor de amplificación sísmico por efectos topográficos.
Lb	Distancia entre arriostramientos, m.

NOTACIÓN

Mm	Momento torsor en las antenas de microondas.
qz	Presión debida a la velocidad del viento.
R	Factor de reducción de respuesta.
T1	Período fundamental de vibración de la estructura.
Vb	Velocidad básica del viento.
Vs	Cortante basal por sismo, kgf.
Vs,min	Cortante basal sísmico mínimo, kgf.
Vu	Fuerza cortante mayorada, kgf.
W1	Peso total de la estructura, incluidos los apéndices.
W2	Peso de la estructura y apéndices en el 5% del tope de la altura.
wa	Anchura promedio de la estructura en la dirección perpendicular al análisis.
wb	Anchura de la estructura en su base en la dirección perpendicular al análisis.
Z	Módulo de sección plástico.
zg	Altura del gradiente en el perfil de velocidades del viento.
α_s	Factor de importancia para sismo.
β	Factor utilizado en la determinación de la presión dinámica del viento y factor de magnificación promedio para el sismo.
β_s	Factor de amplificación del espectro normalizado.
ξ	Coefficiente de amortiguamiento referido al crítico.
ϕ_{Rt}	Resistencia de diseño (resistencia teórica multiplicada por el factor de minoración de resistencia).
ϕ_{Mpx}	Momento Plástico teórico alrededor del eje x, mkgf.
ϕ_{Mrx}	Momento límite de pandeo, mkgf.
ϕ_{Mtx}	Resistencia Teórica a la Flexión, mkgf.
Mu	Momento flector mayorado, mkgf.
ϕ_{Mpy}	Momento Plástico teórico alrededor del eje y, mkgf.

Nota: Algunas notaciones fueron modificadas, como “estructura de soporte” por “edificación”, ya que se presta a una interpretación inadecuada de la terminología utilizada en las Normas CANTV 2007 y COVENIN 1756-1:2001. La finalidad de estas modificaciones es evitar confusión en el lector del presente Trabajo Especial de Grado.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En el presente Trabajo Especial de Grado, se estudian las metodologías de proyecto (análisis, diseño y detallado) utilizadas por los fabricantes y/o los calculistas de torres de telecomunicación, para garantizar el empotramiento de las torres en las azoteas de edificaciones, considerando la normativa vigente. Las normas bajo las cuales se realizará el proyecto son la ANSI/TIA 222-G *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas* y la CANTV 2007 *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*.

La motivación de estudiar las estructuras de transición entre las torres de telecomunicación y las edificaciones, surge de la escasa información disponible en normas nacionales e internacionales en referencia a este tema, lo cual ha llevado a que algunas empresas manejen metodologías de proyecto basadas en la experiencia, las cuales han originado prácticas acertadas o erradas en el análisis, diseño y detallado. Esto lleva a la necesidad de normalizar ciertos aspectos que pueden servir de ayuda para garantizar el correcto empotramiento de las torres sobre azoteas de edificaciones.

Actualmente el auge de la telefonía celular, ha incrementado la necesidad de utilización de torres de telecomunicación, pero algunas veces la disponibilidad de terreno es escasa, por ello es cada vez más frecuente recurrir a la instalación de estas torres sobre azoteas de edificaciones.

Bajo este contexto se presenta esta investigación, que documenta y compara algunas de las diferentes estructuras de transición que se utilizan para anclar las torres de telecomunicación en las azoteas de las edificaciones, con la finalidad de proponer una metodología común de proyecto, evaluar el comportamiento de una estructura de transición y además ofrecer información didáctica útil a las Escuelas de Ingeniería Civil e Ingeniería de

INTRODUCCIÓN

Telecomunicaciones. El contenido de este Trabajo Especial de Grado se encuentra estructurado de la siguiente manera:

CAPITULO I. EL PROBLEMA: se describe el planteamiento del problema y su justificación, se presentan una serie de antecedentes que hacen referencia a investigaciones previas en esta línea de trabajo, se plantean los alcances, las limitaciones y se mencionan los objetivos generales y específicos.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO: contiene los fundamentos teóricos, se describen los tipos de torres de telecomunicación, las partes y componentes fundamentales de las torres y los materiales más utilizados en Venezuela para la construcción de las mismas.

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO: se identifican el tipo y diseño de investigación, explicando los procedimientos realizados para el cumplimiento de los objetivos planteados.

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE TRANSICIÓN: en este capítulo se explican distintas formas de anclar una torre de telecomunicación a una edificación, así como los aspectos técnicos que deberán evaluarse y cumplirse para el diseño de todos los elementos constitutivos de la estructura de transición.

CAPITULO V. DESARROLLO: se plantea un caso de estudio hipotético, se analiza, diseña y detalla mediante la utilización de distintas herramientas, como el software SAP 2000 y Excel. Se presentan los resultados obtenidos.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: se exponen las conclusiones alcanzadas en la investigación y se proponen recomendaciones para futuros desarrollos investigativos.

*CAPITULO I***CAPITULO I. EL PROBLEMA****I.1 Planteamiento del Problema**

El desarrollo de las telecomunicaciones demanda la colocación de antenas dispuestas en torres fabricadas en acero. La fundación de dichas torres en el suelo es un problema suficientemente tratado y conocido, lo que no sucede en el caso de requerir colocar tales torres sobre las azoteas de edificaciones. El proyecto estructural, es decir, el análisis, diseño y detallado estructural, de los dispositivos de apoyo (también llamados estructuras de transición o “chasis”) y del anclaje de las torres de telecomunicación a la estructura de una edificación, es un tópico poco normalizado, por lo que muchas veces es tratado de manera particular por el fabricante de la torre, pudiendo desarrollar soluciones de anclaje que no sean capaces de proporcionar una adecuada estabilidad de la torre.

La colocación de torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones ha incrementado debido a la poca disponibilidad de terreno en ciudades muy urbanizadas, lo que adicionalmente incrementa los costos de terreno, haciendo de las azoteas una solución más económica y viable. Por otra parte, debido a la necesidad de generar el enlace punto a punto, entre antenas parabólicas de distintas torres de telecomunicación separadas grandes distancias, muchas veces es necesario tener una altura que permita tal fin, condición que puede ser aprovechada en la colocación de torres en las azoteas.

La torre de radio de Varsovia, ubicada en Konstanynow, Polonia, fue en su momento la construcción más alta del mundo con 646 m. de altura. Fue utilizada como torre de telecomunicaciones después de ser terminada en 1974 hasta su derrumbamiento en 1991, debido a un error en el cambio de los cables de sujeción del cuerpo más alto del mástil. Si esta torre hubiera estado todavía en pie, hubiera ostentado el título de estructura más alta del mundo hasta el 17 de enero de 2009, cuando el edificio Burj Dubái alcanzó la altura de 828 m.

CAPITULO I

Esto significa que una estructura de tal envergadura requiere de un diseño adecuado, tanto de su estructura como de su fundación, ya que pueden llegar a requerirse grandes alturas de torre para cumplir una función determinada.

Desde el punto de vista académico, este trabajo representa un primer acercamiento entre las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería en Telecomunicaciones. Es necesario documentar la información que requieren, tanto los ingenieros civiles como los de telecomunicaciones sobre los tipos de antenas y de torres, al igual que los requisitos normativos y operacionales que debe cumplir la torre y sus apoyos para una operación eficaz para sus usuarios.

Este trabajo investigará un tópico no contemplado en la Norma CANTV 2007 “*Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soporte de Antenas de Transmisión*” vigente, como lo es el proyecto estructural (análisis, diseño y detallado) de las estructuras de transición de torres de telecomunicación instaladas sobre azoteas de edificaciones, de manera que sus resultados pueden ser incorporados en una futura revisión y actualización de dicho documento. La normativa internacional sobre torres de telecomunicación ANSI/TIA 222-G “*Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas*”, tampoco contempla claramente el objeto del presente Trabajo Especial de Grado.

I.2 Antecedentes

En el año 2007, en la oportunidad de elaborarse una nueva norma para torres de telecomunicaciones para CANTV, se estableció un nuevo procedimiento para el cálculo de las presiones dinámicas del viento y una nueva zonificación eólica de nuestro país que será utilizada en el presente trabajo.

En el trabajo de Ascenso a la categoría de Profesor Agregado de la UCAB, “PROPUESTA PARA LA ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA COVENIN 2003:1987. ACCIONES DEL VIENTO SOBRE LAS CONSTRUCCIONES”, desarrollado por el

CAPITULO I

Ingeniero Civil Arnaldo Gutiérrez en el año 2008, se plantea la revisión y actualización de la Norma COVENIN 2003, que acorde con el alcance y los objetivos de dicho trabajo, comprende la propuesta de actualización del mapa de zonificación eólica y definición de los parámetros para definir la presión dinámica del viento, con la cual se calcularán las fuerzas de diseño por viento.

En el trabajo de grado “ACCIONES DEL VIENTO SOBRE VALLAS Y MAMPARAS SEGÚN LA NORMA ASCE/SEI 7-05, COVENIN 2003:1987 Y CANTV NT-001:2006”, desarrollado en la UCAB, en el año 2009, por Torres, Jonathan y Vásquez, Jesús, bajo la tutoría del Ingeniero Arnaldo Gutiérrez, se realiza la comparación de las Normas vigentes en Venezuela y la Norma ASCE 7-05, con la finalidad de proponer una actualización a la Norma COVENIN para el diseño de vallas y mamparas. El resultado de esta investigación es la presentación de un instructivo con las modificaciones expuestas en su desarrollo, con la intención de proporcionar una guía actualizada que permita hacer un análisis estructural de las acciones del viento sobre vallas y mamparas publicitarias.

Zambrano, Enver, bajo la tutoría del Ing. Arnaldo Gutiérrez, en su trabajo de grado en proceso de desarrollo para la obtención del título de Ingeniero Civil en la Universidad Central de Venezuela, el cual lleva por título “PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DEL APÉNDICE D “ANCLAJES AL CONCRETO” DE LA FONDONORMA 1753:2006 PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL SEGÚN EL ACI 318-11”, trabaja sobre un aspecto que no se ha considerado en las normativas existentes en Venezuela, como son los anclajes post-instalados en concreto endurecido. Con esta investigación se pretende proponer la actualización del Apéndice D “Anclajes al Concreto” de la Fondonorma 1753:2006 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural” adecuada según lo establecido en la Norma internacional ACI 318-11 “*Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*”.

CAPITULO I

En el Trabajo Especial de Grado de Jiménez, Ángel y Salazar, Fabiana, que lleva por título “EVALUACION DE LOS EFECTOS DEL VIENTO SOBRE TORRES PARA TENDIDO ELECTRICO CONSIDERANDO LAS NORMATIVAS DE DISEÑO VIGENTE”, realizado en la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela, en el año 2011, se busca establecer un criterio de diseño aplicando las normativas vigentes en Venezuela, enfocándose directamente en las acciones del viento sobre las torres para tendido eléctrico. La finalidad de dicha investigación fue determinar, cuál de las Normas existentes en Venezuela contempla más claramente el análisis de las acciones del viento para el diseño de torres de tendido eléctrico, las Normas comparadas en la investigación fueron la Norma COVENIN 2003-86 y la Norma CANTV 2007. Como resultado de la investigación, se llegó a la conclusión que la Norma que mejor se adapta para el diseño de torres de tendido eléctrico es la norma CANTV NT-001:2007 y CANTV NT-002:2007 por tratarse de la Norma más actualizadas.

I.3 Alcances y Limitaciones

El objeto de estudio de este Trabajo Especial de Grado, se centra en la estructura de transición o de apoyo que garantiza el empotramiento entre la torre de telecomunicación y la edificación.

Tanto por la poca incidencia del peso de la torre y sus antenas sobre la edificación, como por lo poco perturbador que puede ser la presencia de una torre de telecomunicaciones sobre la edificación misma, el estudio torre-edificio no es el tema principal de este Trabajo Especial de Grado. Se supone que la edificación seleccionada por el operador y los profesionales para colocar la torre, cumple con los requisitos de operación de las antenas y de seguridad tanto estructural del edificio como de sus ocupantes. La selección de un edificio idóneo para la colocación de torres de telecomunicaciones es una actividad que se contrata a especialistas en el estudio de las edificaciones existentes, tal como está contemplado en la Norma COVENIN 1756:2001.

CAPITULO I

Muy a menudo el sismo no es la acción más desfavorable en el análisis estructural de una torre de telecomunicación, porque éstas suelen ser livianas y su presencia en la edificación no compromete ni la seguridad ni la serviciabilidad de la edificación que le sirve de soporte. Las Normas, tanto la internacional TIA 222-G como la nacional CANTV 2007, indican que siempre que el corte basal por sismo sea menor del 50% del resultante mayorado de las acciones del viento, no se exige análisis sísmico para la torre, porque prevalecen las acciones eólicas. En este Trabajo Especial de Grado se cuantificarán las solicitaciones resultantes del análisis estructural de las acciones eólicas y sísmicas, que inciden en diseño de la estructura de transición que permite vincular una torre de telecomunicaciones a una edificación. Las solicitaciones sísmicas se obtendrán mediante un espectro de piso, según se especifica en la Norma CANTV 2007.

Por tanto el problema que aborda el presente Trabajo Especial de Grado, es cómo resuelven los fabricantes de torres de telecomunicaciones el diseño de una estructura de transición o apoyo (también llamada chasis), que garantice el correcto empotramiento de la torre de telecomunicación a la edificación.

I.4 Objetivos

I.4.1 Objetivo General

- Documentar y comparar las metodologías de proyecto (análisis, diseño y detallado) utilizadas por los fabricantes de torres de telecomunicación, para garantizar el empotramiento de las torres en las azoteas de edificaciones, cumpliendo con los requisitos de las normas ANSI/TIA 222-G *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas* y CANTV NT-001:2007 *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*.

CAPITULO I

I.4.2 Objetivos Específicos

- Documentar y comparar las diferentes estructuras de transición que se utilizan para empotrar las torres de telecomunicaciones en las azoteas de las edificaciones, con el fin de proponer una metodología común de proyecto (análisis, diseño y detallado) a ser considerada en una futura revisión de las *Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soporte de Antenas de Transmisión* CANTV NT-001:2007.
- Evaluar el comportamiento de la estructura de transición de una torre para antenas de telecomunicaciones, que se ancla en la azotea de una edificación preseleccionada estructuralmente para resistir las acciones del viento o del sismo (análisis con espectro de piso).
- Generar información didáctica útil a las Escuelas de Ingeniería Civil e Ingeniería de Telecomunicaciones, para establecer un vínculo entre ambas carreras que facilite la comunicación entre estos futuros profesionales.

*CAPITULO II***CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.****II.1 TIPOS DE TORRES DE TELECOMUNICACIÓN**

En la actualidad existen diversos tipos de estructuras soportes de antenas de telecomunicación, las mismas pueden clasificarse principalmente en tres tipos de acuerdo a sus características físicas, funcionamiento, necesidades y condiciones de su ubicación:

II.1.1 Torres autoportadas

Las torres autoportadas se pueden definir como sistemas autoportantes de celosía vertical, dispuestos para resistir su propia masa, masa de las antenas, las acciones por viento y las acciones sísmicas, y en los cuales los miembros están sometidos principalmente a fuerzas axiales. La sección en planta puede ser cuadrada, en forma de triángulo equilátero, o en forma hexagonal u octogonal de acuerdo a nuevas implementaciones, y éstas a su vez pueden ser de sección constante o variable.

Estas estructuras reticuladas son las torres más rígidas y las menos sensibles a la torsión, además se presentan como la mejor opción para las telecomunicaciones debido a su alta resistencia a las cargas de viento y peso de las antenas, por esta razón se utilizan cuando se trata de soportar varias antenas de gran superficie y que funcionan a frecuencias elevadas (2 GHz. y más). Estas torres son diseñadas para admitir cargas en toda su estructura y poseen limitaciones en las deformaciones de acuerdo al equipamiento radioeléctrico que sea necesario instalar en las mismas. La anchura de base de la torre varía en función de la altura y puede ser de aproximadamente $L/10$ o $L/11$.

Igualmente se puede estar obligado a su utilización cuando la superficie de colocación no permita el tendido de fijaciones de riostras (terreno accidentado, zona urbana con terreno exiguo, entre otros).

CAPITULO II

II.1.1.1 Torres autoportadas de sección cuadrada y constante

Las torres de sección cuadrada y constante en toda su altura, se emplean cuando se presentan restricciones de área debido a la poca disponibilidad de terreno, por ello su anchura de base se reduce, además por esta misma condición, las alturas más utilizadas son 30, 36, 42, 48 y 54 m. La distribución de las cargas se ve favorecida por la cantidad de montantes que posee la torre.



Figura II.1 Torre autoportada cuadrada de sección constante sobre azotea.
Fuente: Fotos propias.

II.1.1.2 Torres autoportadas de sección cuadrada y variable

Estas torres son las más utilizadas en el campo de las telecomunicaciones cuando se requiere alcanzar grandes alturas, las mismas suelen ser de 60, 72, 100 e inclusive 120 m., se pueden construir de mayor altura que las de sección constante, ya que por tener cuatro montantes con mayor separación, la distribución de las cargas es más efectiva. Se recomiendan para lugares donde se posee mayor espacio para su ubicación.

CAPITULO II



Figura II.2 Torre autoportada cuadrada de sección variable sobre azotea.

Fuente: Fotos propias.

II.1.1.3 Torres autoportadas de sección triangular y constante

Las torres autoportadas de sección triangular y constante, se emplean cuando se presentan limitaciones de área debido a la insuficiente disponibilidad de terreno, por ello su anchura de base es reducida, suelen tener alturas menores de 60 m., el aspecto más relevante que influye en su utilización es que se requiere menos material de construcción que en las de sección cuadrada, permitiendo un ahorro significativo para bajas alturas de la torre, siempre y cuando las cargas a colocar sobre la torre no afecten la capacidad de la misma, ya que de no ser así se requerirían perfiles de mayor tamaño o la utilización de una torre con mayor capacidad de distribución de las cargas.

CAPITULO II



Figura II.3 Torre autoportada triangular de sección constante sobre terreno.
Fuente: Fotos propias.

II.1.1.4 Torres autoportadas de sección triangular y variable

Estas torres son utilizadas cuando se requiere una mejor distribución de las cargas a transmitir al suelo o estructura de transición, y se cuenta con espacio o terreno suficiente para la separación que requieren las patas o montantes de la torre. Al igual que las torres anteriores, por ser de sección triangular y además de sección variable, el ahorro de material puede ser más significativo en comparación a las de sección cuadrada, y no se suelen utilizar alturas mayores a 60 m., ya que se requerirían perfiles más grandes o perfiles compuestos que harían de la torre cuadrada una opción más atractiva económicamente.

CAPITULO II

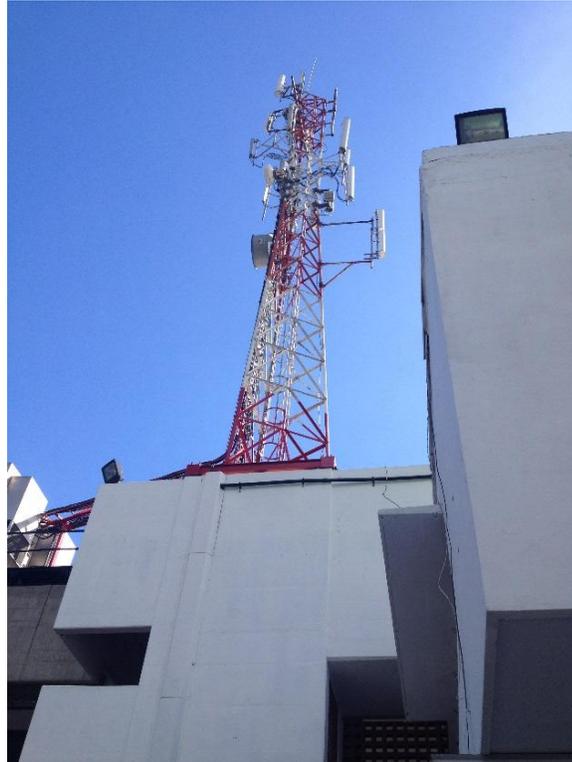


Figura II.4 Torre autoportada triangular de sección variable sobre azotea.
Fuente: Fotos propias.

II.1.1.5 Torres autoportadas de sección hexagonal u octogonal constante

Actualmente el crecimiento de la telefonía celular, ha generado que la necesidad de construcción de torres capaces de soportar gran cantidad de equipos para proveer mayor cobertura, sea cada vez mayor, ya que se requiere cumplir con las grandes demandas de servicio que se van incrementando con el pasar de los años, por ello se están comenzando a implementar torres de secciones distintas a la comúnmente observadas, las cuales sólo son instaladas en puntos específicos y en casos especiales, como lo son las torres autoportadas de sección hexagonal u octogonal constante. Estas torres se emplean cuando se requiere instalar numerosas antenas parabólicas apuntando a diferentes sitios, ya que proporciona mayor libertad de ubicación de las mismas.

CAPITULO II

II.1.2 Monopostes

Los monopolos o monopostes son estructuras conformadas por secciones tubulares de dimensiones variables de acuerdo con las condiciones de carga del monopolo. La ventaja de su utilización es que se instalan rápidamente con un mínimo equipamiento y mano de obra, lo que implica ahorros monetarios significativos, además son especialmente ideados para aquellos casos en que el espacio disponible de terreno sea muy pequeño, ya que el área requerida para la ubicación de un monopolo es relativamente reducida. Se utilizan monopostes cuando se requieren bajas alturas, usualmente menores a 42 m., o cuando las características o la cantidad de antenas es tal que no se justifica la instalación de una estructura más compleja. Se pueden instalar sobre inmuebles, sin la necesidad de hacer reestructuraciones importantes para alturas de monopolo entre 9 y 21 m., igualmente el mantenimiento en la estructura es mínimo. Existen varios tipos de monopostes dependiendo de las variaciones del fabricante, pero esencialmente pueden ser de sección constante o de sección variable.



Figura II.5 Monoposte de sección variable sobre terreno.
Fuente: www.podfeed.net.

CAPITULO II



Figura II.6 Monoposte de sección constante sobre azotea.

Fuente: Fotos propias.

Los monopostes en sí son estructuras más disimuladas que las de una torre autoportada o una torre arriostrada, inclusive existen algunas estructuras mimetizadas que no son más que monopostes camuflados, específicamente diseñados para soluciones particulares. Estas estructuras mimetizadas son situadas principalmente en grandes centros urbanos, donde se requiere la implementación de tecnología de telecomunicaciones, pero se considera el gran impacto ambiental y/o visual que puedan generar nuevas estructuras que se salen de los estándares constructivos del sitio, y donde restricciones de las autoridades o las reglamentaciones urbanísticas complican la instalación de nuevas estructuras.

Los monopostes mimetizados pueden ser estructuras como clásicos faroles de parques o plazas, palmeras o árboles de distintas especies que son reforzados (monopostes ecológicos) u otras formas adaptadas a la arquitectura del sitio. Éstos ofrecen las ventajas de poseer diseños creativos, reducir la queja de los residentes, tener una instalación rápida y sencilla para diseños funcionales, y permitir la realización de instalaciones secretas en el campo.

CAPITULO II



Figura II.7 Monoposte mimetizado sobre terreno.
Fuente: www.medioambiente.org

II.1.3 Torres arriostradas, atirantadas o venteadas

Las torres venteadas son aquellas estabilizadas por cables de acero (guayas) y anclajes, en las cuales las fuerzas horizontales de los vientos son absorbidas por las riostras. Es una excelente elección para muchas instalaciones, se utilizan cuando se requiere poca altura, baja carga (ya que son livianas) y se le colocan guayas debido a su esbeltez. Las torres venteadas son mucho más económicas, pero ocupan un área considerable, ya que las guayas deben estar ancladas a una distancia de la base que es por lo menos la tercera parte de la altura, aunque puede llegar a ser hasta la mitad de la altura.

Cuando se dispone de terreno, una torre venteada es ideal para cubrir todas las necesidades de comunicaciones, incluyendo enlaces de datos, enlaces microondas y radiodifusión. Las torres arriostradas son una solución de despliegue fácil, rápido, rentable y adaptable para azoteas y áreas urbanas.

CAPITULO II

Los usos recomendados para las torres arriostradas son: radiobases de telefonía celular, equipos de vigilancia por video, turbinas de viento, radio FM, estaciones de TV y equipos meteorológicos.

Las torres de tipo atirantada basan su estabilidad en el efecto de pretensado que le transmiten los cables a la estructura, el tensado de los cables se realiza en el momento del montaje o construcción de la torre, y debe ser rectificado periódicamente. Los valores de tensado inicial oscilan entre el 8% y el 15 % de la carga de rotura dada por el fabricante, estos valores evitan el relajamiento que puede producir un efecto de galope de los cables y las vibraciones de los cables debido a altas tensiones. Durante el paso de los vientos fuertes en cada temporada ciclónica, los cables pueden sufrir variaciones de su tensión, que luego no son rectificadas de acuerdo con lo establecido por las Normas, estas variaciones que provocan el estiramiento y pérdida de tensión en los cables no son consideradas usualmente en el cálculo de estas estructuras. Por años, el comportamiento dinámico de las torres atirantadas bajo la acción de cargas de viento ha sido de gran interés para los investigadores a nivel mundial dada su complejidad, la inherente no-linealidad de la estructura y la complicada naturaleza de las cargas de viento en la capa límite.

Una de las consideraciones fundamentales en el estudio de las torres atirantadas es el comportamiento de los cables, ya que estos son los que le confieren la estabilidad a la estructura. La respuesta estructural del conjunto en estos casos, está determinada por las propias de estos elementos y los estados de tensión y distensión de los mismos bajo la acción de las cargas.

Las diferencias significativas entre el comportamiento estático y dinámico de las torres atirantadas han sido estudiadas por un gran número de investigadores: Davenport (1959), Ben Kalha (1993), Sparling (1995), Wahba (1999) y Zhu (2007).

CAPITULO II

Las primeras aproximaciones para el cálculo de torres atirantadas se basaban en el comportamiento estático, se consideraba la torre como una viga-columna continua sobre apoyos elásticos, cuyas constantes elásticas estaban dadas por la rigidez lateral de los cables.

Las publicaciones más recientes se han enfocado en la respuesta dinámica de las torres bajo cargas de viento. La complejidad que implica su análisis dinámico ha conllevado a la creación de métodos de análisis simplificados. En este último caso se encuentra el método desarrollado por Davenport y Sparling, denominado “*Patch Load*” (Tramos de Carga), el cual aproxima de una forma más realista los efectos dinámicos del viento sobre la torre, usando una serie de patrones de carga.



Figura II.8 Torre arriostrada sobre techo,
Fuente: Fotos propias.

CAPITULO II

II.2 PARTES DE UNA TORRE DE TELECOMUNICACIÓN

II.2.1 Estructura de la torre

Una torre de telecomunicación está constituida por perfiles en celosía, lo que significa que no transmiten fuerzas cortantes ni momentos entre ellos, sin embargo, se requiere de la distribución adecuada de cargas verticales y cargas horizontales generadas por viento, por ello las torres de telecomunicación están constituidas por miembros que tienen diversas funciones dentro de la estructura de la torre. Las montantes o patas son las encargadas de distribuir las cargas verticales, como lo son el peso propio, peso de las antenas y equipos, entre otros. Las horizontales y diagonales, son elementos que tienen la finalidad de transmitir las cargas de corte generadas por el viento y proporcionar rigidez lateral al conjunto evitando deflexiones indeseadas. Los diafragmas son perfiles que se disponen a manera de proporcionar rigidez al conjunto de la torre, éstos se deben detallar e instalar de manera adecuada, ya que los mismos son los responsables de evitar que se generen problemas en la torre, como movimientos relativos entre las montantes, lo cual haría que la torre no se comporte como un cuerpo rígido.

En caso de requerirse, la torre debe contar con una estructura de transición o apoyo entre la torre y la edificación, ésta debe estar diseñada con la finalidad de transmitir adecuadamente las cargas al edificio, y debe contar con la rigidez necesaria para que no represente un problema para la torre de telecomunicación.

A continuación se muestra una imagen en la que se señalan los elementos que constituyen el cuerpo de una torre de telecomunicaciones:

CAPITULO II

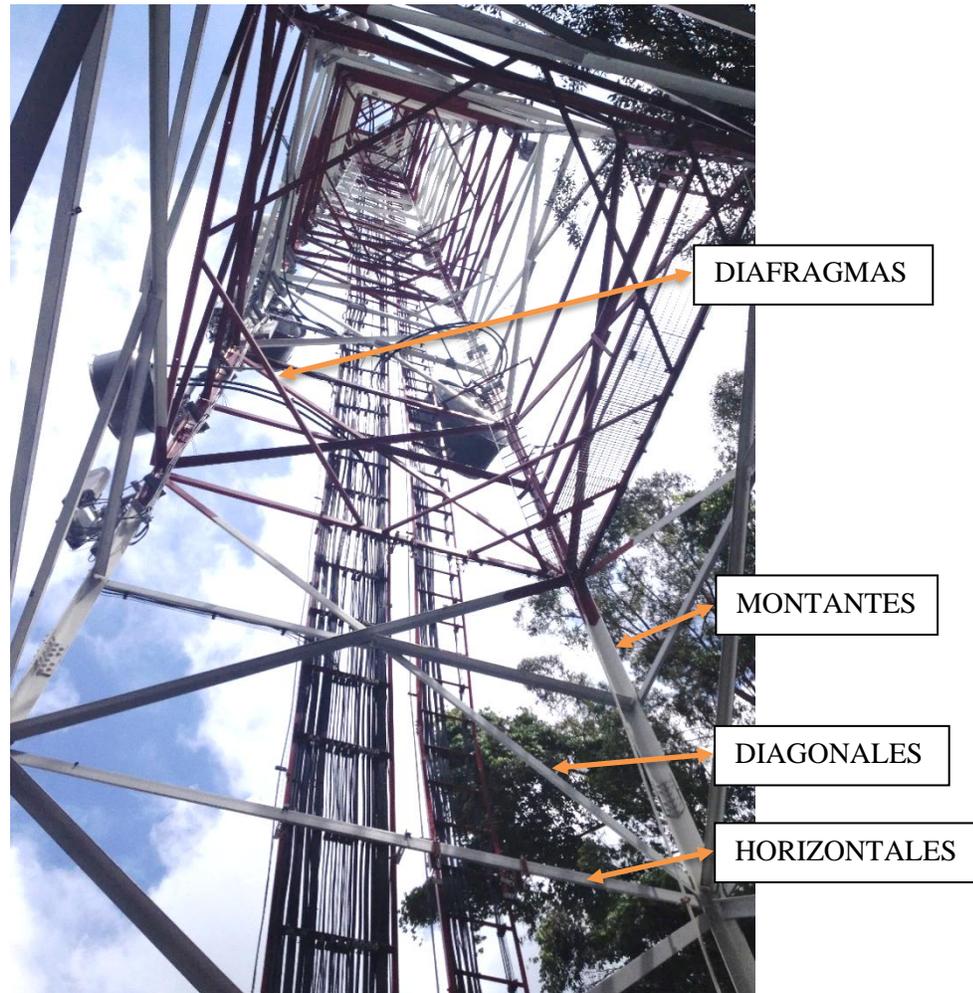


Figura II.9 Estructura de la torre.
Fuente: Elaboración propia.

II.2.2 Sistema de protección contra descargas atmosféricas

Las torres de telecomunicación por su ubicación geográfica elevada para evitar obstrucciones que impidan la transmisión de la señal, suelen ser estructuras altamente expuestas a recibir impactos de rayos que pueden dañar las antenas, equipos electrónicos e instalaciones eléctricas, dejando fuera de servicio las emisiones de comunicaciones, sin embargo, para evitar esta situación que puede generar grandes inconvenientes de señalización

CAPITULO II

hacia los usuarios y enormes pérdidas económicas para la compañía que presta el servicio, se provee a la torre de un sistema de protección contra descargas atmosféricas.

Antes de describir el sistema de protección contra descargas atmosféricas es importante conocer qué son las descargas atmosféricas y cómo se forman.

El rayo es una enorme corriente eléctrica que circula entre dos nubes de tormenta eléctrica o entre una nube y la región tierra que se encuentra cercana. La parte superior de una nube de tormenta eléctrica (a 6 o 7 kilómetros de altura y a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) tiene carga positiva, mientras que la parte inferior de la nube (a 3 o 4 kilómetros de altura y a temperaturas entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) posee carga negativa, excepto por una pequeña zona de la parte inferior que tiene carga positiva, el sector de tierra que se encuentra debajo de ellas, por efecto de inducción electrostática, presenta carga positiva. Entre la parte inferior de la nube de tormenta eléctrica y la tierra se puede producir diferencias de potenciales de 20, 30 o 100 millones de voltios, superando el potencial de ruptura del aire, cuando se produce esta ruptura, las cargas negativas de la nube son transportadas a la tierra generando el rayo.

Primero, se produce una descarga llamada “guía escalonada” (no es brillante como el rayo) que baja a un sexto de la velocidad de la luz. Recorre aproximadamente 50 metros, se detiene unos 50 microsegundos y sigue. Para y sigue sucesivamente, moviéndose en forma escalonada (puede parar hasta 10000 veces). La columna está repleta de cargas negativas y el aire se vuelve más conductor al ser ionizado por estas cargas en movimiento. Cuando la guía escalonada está a unos 100 metros del suelo existe una descarga que sube desde la tierra a encontrarla, al hacer contacto se crea una conexión entre la nube y la tierra, y las cargas de la nube pueden disiparse. El rayo que se ve es el rayo de retorno, que va desde el suelo a la nube. Cuando el rayo de retorno desaparece, baja otra guía sin pausas llamada “guía oscura”. Sigue el mismo camino llevando cargas negativas y cuando toca tierra sube otro rayo de retorno. Así, el rayo puede caer varias veces sucesivamente (se ha observado hasta 42 veces).

CAPITULO II

Si la guía se ramifica en dos partes, una puede tocar tierra antes que la otra. El rayo de retorno, que sube a lo largo de la rama que llega primero al suelo, llega a la nube, pasando también por la otra rama. Si la última llega al suelo al mismo tiempo que la original, la guía oscura puede tomar la otra rama, viendo el primer rayo en un lugar y el segundo en otro.

Una de cada diez veces el rayo es iniciado por guías que contienen cargas positivas. El rayo de retorno lleva cargas negativas y transfiere cargas positivas de la nube a la tierra. Habitualmente no hay guías oscuras subsecuentes. Los rayos “positivos” causan mucho más daño, ya que generan corrientes que representan el doble del valor habitual. Son los principales responsables de los incendios forestales.

En cuanto al sistema de protección contra descargas atmosféricas, se tiene que el mismo está compuesto básicamente por un cabezal captador (llamado pararrayos) el cual debe sobresalir por encima de las partes más altas de la estructura, y cuya función es capturar el rayo, este estará soportado por un mástil metálico que le proporciona altura al pararrayos, el cabezal debe estar unido a un cable de cobre conductor de descargas y éste a su vez al sistema de puesta tierra, encargado de disipar la energía mediante electrodos.

A continuación se describen los componentes del sistema de protección contra descargas atmosféricas:

II.2.2.1 Pararrayos

Los pararrayos son dispositivos que se colocan en la parte más alta de los edificios, las torres de telecomunicaciones, los buques y otras construcciones que sobresalen del relieve regular de un terreno, y cuya finalidad es captar los rayos y dirigirlos de forma segura a través de un cable hasta la tierra húmeda o el agua, para evitar en lo posible los daños que pueden originar los rayos, tanto en las personas como en las construcciones. Dicho artefacto fue ideado por el político, científico e investigador estadounidense Benjamin Franklin, (Boston, 17 de enero de 1706 - Filadelfia, 17 de abril de 1790) quien inició sus experimentos sobre el tema en

CAPITULO II

1749 bajo la hipótesis de que las tormentas son fenómenos eléctricos, y efectuó una serie de experimentos sobre la propiedad que tienen las puntas agudas, puestas en contacto con la tierra, de descargar los cuerpos electrizados situados en su proximidad, inventando en 1752 el pararrayos.

Estos dispositivos metálicos usualmente acabados en punta, tienen como principio de funcionamiento excitar la aparición de la guía y captar el rayo, esto se debe a que en un objeto puntiagudo, el campo eléctrico es tan intenso que durante una tormenta se inicia una descarga desde la punta que busca la guía, por lo que el rayo tiende a caer en la punta. Los pararrayos son colocados en los sitios más altos de la zona de protección del mismo, ya que los rayos caen principalmente en los objetos más elevados, porque su formación se favorece cuanto menor sea la distancia entre la nube y la tierra. Por lo tanto, si se produce el rayo, las cargas recorrerán el camino con menor resistividad eléctrica, es decir, el camino más corto y fácil, que es el que conduce el pararrayos, el conductor de descarga y la toma de tierra, por lo que el rayo se descargará sin causar grandes daños.

En principio, un pararrayos protege una zona teórica de forma cónica con el vértice en el cabezal, el radio de la zona de protección depende del ángulo de apertura de cono y a su vez éste depende del tipo de pararrayos a utilizar.

A pesar de que se cuente con un pararrayos que disminuya considerablemente los riesgos de daños en la torre de telecomunicaciones y sus equipos ante las descargas atmosféricas, estas descargas pueden ocasionar, en mayor o menor grado, efectos secundarios de contaminación electrostática y radiación electromagnética que pueden afectar a las instalaciones eléctricas y equipos de telecomunicaciones, audiovisual y cualquier otro que contengan electrónica sensible a tales perturbaciones, inclusive durante la descarga del rayo en el pararrayos de la torre, ya que las instalaciones de pararrayos generan pulsos electromagnéticos de gran potencia cuando entran en funcionamiento.

CAPITULO II

A continuación se describen los pararrayos más utilizados en las torres de telecomunicaciones:

II.2.2.1.1 Pararrayos tipo Franklin

El sistema más sencillo y más antiguo de pararrayos, es el que consiste en terminales aéreas de cobre, bronce o aluminio anodizado terminadas en punta, llamadas puntas Franklin, colocadas sobre las estructuras a proteger de los rayos. Este pararrayos lleva el nombre de su creador, y puede tener una punta o varias puntas.

Los pararrayos Franklin que poseen, además de la punta central, varias puntas auxiliares adicionales, son utilizados con la finalidad de ampliar el radio de protección hasta un 25% más que el pararrayos de una sola punta.

Este pararrayos se basa en el "efecto punta" anteriormente descrito. La zona protegida por un pararrayos clásico de punta Franklin tiene forma cónica, y es uno de los pararrayos más utilizados para la protección de torres de telecomunicaciones.



Figura II.10 Pararrayos tipo Franklin con varias puntas.
Fuente: http://www.totalground.com/pararrayos_conv.html

CAPITULO II

II.2.2.1.2 Pararrayos tipo dipolo corona

Es un tipo de pararrayos del tipo desionizador de carga electrostática, que incorpora un sistema de transferencia de carga que proporciona mayor protección que los pararrayos terminados simplemente en punta, no incorporan ninguna fuente radiactiva. El principio de funcionamiento de este pararrayos, se basa en la transferencia de la carga electrostática antes de la formación del rayo, eliminando el fenómeno de ionización o efecto corona (fenómeno que ocurre cuando la intensidad de campo eléctrico es particularmente elevada y en el espacio circunvecino a la punta se presenta la ionización del aire de manera muy intensa, manifestando un halo luminoso violeta a su alrededor). El pararrayos está construido por un anillo de aluminio situado en la punta del mismo denominado anillo equipotencial, y más abajo un disco aislante soportando una bobina en forma de toroide llamado toroide excitador, todo ello sostenido por un pequeño mástil de aluminio, su forma es circular y el sistema está conectado en serie con la propia toma de tierra para transferir la carga electrostática durante la formación del rayo desde la parte superior del pararrayos hasta la tierra, evitando la excitación e impacto directo del rayo.



Figura II.11 Pararrayos tipo dipolo corona

Fuente: Análisis de contingencias eléctricas en centros comerciales. Gómez Marcial, Daniel. 2012.

CAPITULO II

II.2.2.2 Conductor de descarga

El conductor de descarga aéreo no es más que un cable, que suele ser de cobre desnudo, el cual conecta la varilla en la parte superior de la estructura, al sistema de descarga a tierra, el mismo se sujeta verticalmente a lo largo de la parte exterior de la estructura hasta llegar al sistema de puesta a tierra.

En el caso de torres de telecomunicaciones, el conductor de descarga se suele colocar a la par de uno de los montantes, no se aconseja instalarlo al interior de un montante, porque en el caso de hurto del material (principalmente cuando se trata de cobre) se pueden cercenar los perfiles y poner en riesgo de colapso a la torre completa.

Tampoco se aconseja usar la torre en sí como conductor, porque requiere soldadura Cadweld¹ en las uniones de cada sección de la torre, lo cual afecta el galvanizado.

La bajada en la parte inferior debe conectarse al anillo del sistema de tierra, y también conectarse a los pozos de cada electrodo que debe tener tratamiento especial (bentonita, compuesto GEM “*Ground Enhancement Material*”, entre otros). La torre en sí también debe aterrizar, colocando en cada montante una pletina independiente que se sujeta a los pernos de la base por medio de una tuerca extra, a dicha pletina se conecta el cable con soldadura Cadweld.

II.2.3 Sistema de puesta a tierra o aterramiento

El sistema de puesta a tierra es un conjunto de conductores eléctricos (cables y electrodos) directamente enterrados en el suelo y distribuidos a través de una instalación diseñada para soportar corrientes excepcionales en casos de corto circuitos, descargas

¹ El proceso Cadweld se compone de la unión de polvo de aluminio, una pequeña cantidad de óxido de zinc y óxido de cobre. El aluminio y el óxido de zinc reducen al cobre produciendo una gran generación de calor. Al comienzo la temperatura se eleva a 450°C por causa del material de ignición o pólvora, la cual se enciende por medio de un yesquero apropiado. Luego se eleva a 900°C lográndose el punto de fusión del material, finalmente se completa la reacción química a los 2200°C donde se produce la soldadura exotérmica.

CAPITULO II

atmosféricas, entre otras eventualidades. A este sistema se conectan todos y cada uno de los elementos de la instalación que requieran ser puestos a tierra, tales como los neutros, las antenas, los equipos, las carcasas de los equipos, los montantes, el sistema de protección contra descargas atmosféricas y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

Los principales objetivos del aterramiento son: proveer un medio seguro para proteger al personal, proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes a tierra, proveer un medio para disipar las corrientes eléctricas indeseables, facilitar la operación de los dispositivos de protección, disipar la corriente asociada a las descargas atmosféricas limitando las sobretensiones generadas, proveer un medio de descarga y desenergización de equipos antes de proceder a las tareas de mantenimiento, proteger los equipos y otros sistemas ante contingencias eléctricas.

Un sistema de puesta a tierra coordinado, debe reducir fundamentalmente la posibilidad de que aparezcan tensiones importantes entre elementos metálicos adyacentes. No obstante, es necesario tomar medidas suplementarias, como protectores, descargadores, dispositivos activos de supresión de transitorios, entre otros, en todo lo que esté referido a cables, conexiones y posibles vías de ingresos de transitorios que puedan provocar daños en forma parcial o total de los equipos. Los sistemas de puesta a tierra pueden tener varias clasificaciones.

De acuerdo a su naturaleza, los sistemas de puesta a tierra pueden clasificarse en: instalación artificial, que son aquellos que se construyen para tal fin utilizando diferentes tipos de electrodos, e instalación natural, que son elementos de otros sistemas técnicos, por ejemplo, líneas de tuberías metálicas o cimientos de estructuras metálicas, vías férreas y hasta conductos de agua.

CAPITULO II

De acuerdo a su aplicación, o en otras palabras, conforme a la funcionalidad de las instalaciones de puesta a tierra, los sistemas de puesta a tierra constan de tres clasificaciones importantes:

- **Sistemas de puesta a tierra de protección:** tienen la finalidad de limitar el valor de la tensión contra tierra de aquéllas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas ni en tensión, ni aisladas y con las cuales puede tener contacto el personal, como las antenas.
- **Sistemas de puesta a tierra de funcionamiento:** se aplican para satisfacer ciertas condiciones de servicio del sistema técnico en cuestión, es decir, sirven para poner a tierra, por necesidad de funcionamiento, a determinados puntos del circuito eléctrico, tales como neutro de generadores y transformadores, aparatos para la conexión de la tensión contra tierra, pararrayos, entre otros.
- **Sistemas de puesta a tierra de trabajo:** estos sistemas son realizados con carácter provisional, efectuados para poner a tierra parte de la instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación, tales como cuchillas de seccionadores.

Las clasificaciones anteriores envuelven de manera general todos los tipos de puesta a tierra, sin embargo, en el sistema eléctrico existen diferentes dispositivos o partes del sistema con un propósito determinado. Por tal motivo, es necesario hacer una clasificación secundaria de los sistemas de puesta a tierra de acuerdo a su propósito, la cual se describe a continuación:

- **Sistemas de puesta a tierra de los sistemas eléctricos:** estos sistemas tienen el propósito de limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de descargas atmosféricas, fenómenos de inducción o de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Se logra uniendo la parte del sistema eléctrico con corriente de falla a tierra mediante un conductor apropiado.
- **Sistemas de puesta a tierra en señales electrónicas:** tienen la finalidad de evitar la contaminación de señales con frecuencias diferentes a las deseadas. La puesta a tierra se logra

CAPITULO II

mediante blindajes de todo tipo conectados a una referencia cero, que puede ser la tierra. También tiene el propósito de evitar la destrucción de los elementos semiconductores por un incremento en el voltaje. Se colocan dispositivos de protección, conectados entre los conductores activos y la referencia cero.

- **Sistemas de puesta a tierra de protección atmosférica:** sirven para canalizar la energía de las descargas atmosféricas a tierra sin mayores daños a personas y propiedades.

- **Sistemas de puesta a tierra de protección electrostática:** la finalidad de estos sistemas es neutralizar las cargas electrostáticas producidas en los materiales dieléctricos. Se logra uniendo todas las partes metálicas y dieléctricas, utilizando la tierra como referencia de voltaje cero.

Todos los equipos ubicados en una torre o mástil, tales como equipos de RF (radio frecuencia), antenas, líneas de transmisión, sistema de protección contra descargas atmosféricas, entre otros, deben estar correctamente conectados al sistema de puesta a tierra. Todas las patas o montantes de la torre deberán estar conectadas al anillo de puesta a tierra de manera independiente.



CAPITULO II

Figura II.12 Puesta a tierra de montante de torre.
Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.

El sistema de puesta a tierra está constituido por la barra TGB (esta pieza no aplica para el sistema de protección contra descargas atmosféricas), la cual se conecta a tierra por medio de un conductor de cobre el cual se enlaza con el anillo de puesta a tierra, que debe poseer varios electrodos. Los elementos del sistema de aterramiento deben estar enterrados a varios metros de profundidad.

La sección del conductor, la superficie de contacto y la resistividad² del suelo, son los tres factores más importantes en la construcción de un buen aterramiento.

II.2.3.1 Barra de Aterramiento o Barra TGB (*Tower Ground Bus Bar*)

La barra de aterramiento o barra TGB, es una barra de cobre con orificios que tienen una configuración que permite soportar conexiones del tipo doble ojo, en esta barra terminan todas las conexiones a tierra provenientes de los equipos, guías, entre otros.

La barra TGB se conecta a un punto de tierra del anillo de puesta a tierra por medio de un conductor de cobre. Cada conexión a la barra de aterramiento debe estar cubierta en los puntos de contacto con grasa antioxidante y no se debe colocar más de un conector en cada hueco de la barra. En caso de que no exista espacio disponible en la existente, para la colocación de una nueva conexión a tierra, se debe colocar otra barra, la cual debe estar eléctricamente conectada al anillo exterior y a la barra principal mediante un conductor de cobre. Esta barra debe estar aislada mediante accesorios que no permitan que exista continuidad eléctrica entre ella y su soporte.

² La resistividad del suelo se define como la resistencia que presenta 1 m³ de tierra, y resulta de un interés importante para determinar en donde se puede construir un sistema de puesta a tierra. En la resistividad del terreno influyen varios factores que pueden variarla, entre los más importantes se encuentran: naturaleza del terreno, humedad, temperatura, salinidad, estratigrafía, compactación y las variaciones estacionales.

CAPITULO II

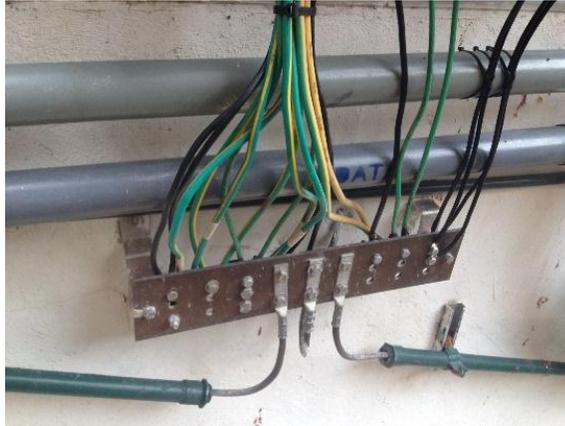


Figura II.13 Barra TGB

Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.

También existe la Barra EGB “*External Ground Bus Bar*”, la cual posee el mismo funcionamiento que la barra TGB, pero se utiliza para la caseta de equipos.

II.2.3.2 Anillo de puesta a tierra

El anillo de puesta a tierra consiste en un cable de cobre enterrado, el cual rodea a toda la estructura, la finalidad del mismo es servir de receptor de todos los cables de puesta a tierra presentes en la estructura y llevarlos hasta los electrodos.

II.2.3.3 Electrodo

Los electrodos son los elementos finales encargados de disipar las cargas estáticas y corrientes de cortocircuito hacia las capas inferiores del suelo, estos dispositivos son instalados en el anillo de puesta a tierra para llevar a tierra toda la carga eléctrica de los equipos, antenas, pararrayos, entre otros. Básicamente son varillas de cobre o material similar (pueden ser una combinación de cobre, acero y níquel) que deben estar enterradas a longitud suficiente para transmitir la carga eléctrica de manera efectiva. También se utilizan placas de

CAPITULO II

metal conductoras enterradas (generalmente cobre), sin embargo, la varilla Copperweld³ es el tipo de varilla más utilizada, ya que resulta una solución más económica y eficiente.

La varilla se coloca verticalmente, se acepta que la varilla vaya enterrada en forma horizontal, pero no es muy recomendable. La varilla Copperweld no tiene gran área de contacto, pero sí posee una longitud considerable, con la cual es posible lograr un contacto con capas de tierra húmedas, obteniéndose un valor de resistividad bajo.

II.2.4 Balizamiento o señalamiento nocturno

En la Norma CANTV NT-001:2007 “Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soporte de Antenas de Transmisión” se establece lo siguiente:

En cuanto a la iluminación o señalamiento nocturno, todas las torres se iluminarán según las “Normas de Señalamiento de Obstáculos” de la Dirección de Aeronáutica Civil con faros de luz fija 300W o faros de destello, si las torres se encuentran en el cono de influencia de algún aeropuerto.



Figura II.14 Balizamiento.
Fuente: www.grupoitm.net

³ La varilla Copperweld es un elemento bimetálico compuesto por un núcleo de acero y una película externa de cobre unidos metalúrgicamente. La capa de cobre brinda protección suficiente contra la corrosión del terreno y la varilla en conjunto permite una adecuada difusión a tierra de las corrientes de falla que se puedan presentar en el sistema eléctrico.

CAPITULO II

Para torres de hasta 45 metros de altura, se colocará una lámpara de obstrucción doble en la parte más alta de la torre, mientras que para torres mayores de 45 metros de altura, se colocará una luz de obstrucción en la parte más alta de la torre y lámparas de obstrucción dobles a distancias no mayores de 45 metros con el fin de indicar la configuración de la torre y su tamaño.

Las luces de iluminación o balizas se colocarán de manera que definan la forma general de la torre y que sean identificables desde una distancia de 300 metros a 1000 metros, para que las torres sean visibles desde el aire o desde la tierra, en cualquier dirección de aproximación de las aeronaves. Las balizas deben ser de un sólo color, el cual debe contrastar con el fondo contra el cual haya de verse.

II.2.5 Pintura de iluminación o señalamiento diurno

Toda la estructura de las torres y de las estructuras de soporte para antenas de transmisión, será pintada de acuerdo con las “Normas de Señalamiento de Obstáculos” de la Dirección de Aeronáutica Civil según lo establecido en la Norma CANTV NT-001:2007.

Las bandas deberán ser perpendiculares a la altura de la torre y tener una anchura igual a $1/7$ de la misma. Los colores de las bandas deberán contrastar con el fondo sobre el cual se hayan de ver, sugiriéndose el uso de los colores anaranjado y blanco de forma alternada. Las bandas de los extremos de la torre se pintarán con el color más oscuro (naranja o rojo).

De los diferentes planos de torres revisados, se determinó que las bandas deberán ser perpendiculares a la altura de la torre, y su anchura es muy variable, puede ser $1/3$ para torres de altura entre 18 y 24 metros, $1/5$ para torres de altura entre 30 y 36 metros, $1/7$ para torres de altura entre 42 y 48 metros y $1/9$ para torres de altura entre 54 y 60 metros. Esto quiere decir que la anchura de las bandas adoptada por los constructores oscila entre los 5 y 8 metros aproximadamente.

CAPITULO II

II.2.6 Plataformas

II.2.6.1 Plataformas de trabajo

Las plataformas de trabajo se encuentran ubicadas generalmente fuera de la torre, y son empleadas como base para realizar trabajos y dejar implementos.

En las plataformas de trabajo no se requiere la colocación de pasamanos o barandas de seguridad (*toe boards*), pero cuando no se disponga de anclajes para los accesorios de seguridad (arnés) en las plataformas se colocarán pasamanos o barandas de seguridad.

II.2.6.2 Plataformas de descanso

Es una plataforma que tiene la finalidad de realizar una transferencia en el alineamiento de la escalera y permitir al usuario descansar.

En caso de que se requiera la colocación de una o varias plataformas de descanso, éstas se construyen interiores a la torre con ángulos de acero para los marcos del piso y las barandas, dentro del marco del piso se colocan mallas antideslizantes que sirven de soporte para los instaladores. Las alturas de instalación son determinadas de acuerdo con las exigencias del cliente, pero se suelen colocar cada 15 metros o más.

De acuerdo con la Norma CANTV NT-001:2007, la altura mínima de los pasamanos medidos sobre la superficie de las plataformas será de 107 cm. y la máxima separación entre plataformas en una estructura de altura superior a 152 m. será de 46 m.

II.2.7 Accesorios para ascenso

Son componentes específicamente diseñados o instalados para permitir el acceso a la torre, tales como escaleras fijas y escalones fijados al fuste o miembros estructurales de la torre o monopolo. La pendiente de la escalera o facilidad para escalar estará entre los 90° y 60° respecto a la horizontal, en ningún caso se orientará hacia el escalador.

CAPITULO II

Se debe contar también con dispositivos de seguridad para el ascenso del operador, que son aquellos que exceptuando las jaulas guarda hombre, están diseñados para minimizar las caídas accidentales, o para limitar la altura de las caídas. Los dispositivos de seguridad permiten que la persona ascienda o descienda de la estructura, sin tener que manipularlos continuamente.

De acuerdo con la Norma CANTV NT-001:2007 para asegurar la compatibilidad con el arnés de seguridad para escalar, el cable que soporta el sistema de seguridad, debe tener fijada a la base de la estructura, una etiqueta metálica estampada o grabada, indicando el tamaño y tipo de cable. A fin de minimizar las dimensiones requeridas para el arnés de seguridad, se considerará que el sistema de soporte estándar es de cables de 10 mm. (3/8 plg.).

Cuando el dispositivo de seguridad o cable de vida para el ascenso no es continuo sobre la altura completa de la estructura, se dispondrá de anclajes para los accesorios del escalador espaciados a un máximo de 1.2 m. (4 pies) en toda la altura no equipada con el dispositivo de seguridad para el ascenso.

No se requiere dotar de dispositivos de seguridad a cada accesorio de ascenso cuando en la estructura se provea de múltiples accesorios de ascenso. El dispositivo de seguridad será proporcionado para el accesorio que sube de manera continua en toda la altura de la estructura de la torre.

Los aros y las jaulas de seguridad de la escalera, no son recomendados para las estructuras de telecomunicación que posean equipos en varias localizaciones de la torre. Si son provistos, no se requiere de un dispositivo de seguridad.

CAPITULO II



Figura II.15 Escalera de ascenso central.
Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.

Los dispositivos de ascenso y de seguridad no necesitan ser instalados en la altura completa de una torre de telecomunicación, cuando su instalación pueda afectar negativamente el funcionamiento de una antena. En tal caso, la estructura será equipada de una señal de peligro y serán proporcionados anclajes para los accesorios del escalador.

A continuación se transcriben los requisitos dimensionales exigidos por la Norma CANTV 2007:

Los requisitos dimensionales serán función de la siguiente clasificación de los sistemas de escaleras y facilidades de trabajo:

Clase A: Operarios autorizados (básicos) o escaladores competentes (*skilled*).

Clase B: Solamente para escaladores competentes.

Los siguientes requisitos dimensionales aplican para todas las Clases, excepto cuando se especifique para una determinada Clase. Cuando no se pueda cumplir

CAPITULO II

con algunos de los requisitos, deberá colocarse una señal de advertencia claramente visible.

a. La separación centro a centro entre peldaños, pernos para escalar alternadamente espaciados, o miembros estructurales usados para ascender será de 25 cm. como mínimo y de 40 cm. como máximo. Para sistemas de Clase A, el espaciamiento permanecerá uniforme sobre una longitud continua de ascenso con una tolerancia de ± 2.5 cm.

b. La distancia libre entre barandas no será menor de 30 cm. Esta separación libre podrá incrementarse cuando se use un riel de seguridad.

c. Todos los peldaños, puntos de anclaje, escalones, pernos para escalar y rieles estarán libre de astillas, bordes afilados, rebabas, o proyecciones que pueden ser peligrosas.

d. Los pernos de los escalones no serán menores de 16 mm. de diámetro.

e. La anchura de los peldaños no será menor de 16 mm., los peldaños redondos o redondeados no serán mayores de 38 mm. de diámetro y de 50 mm. para los peldaños planos.

f. La anchura libre de los pernos para escalar no será menor de 110 mm. Se tomarán provisiones para asegurar que el pie del escalador no pueda deslizarse fuera del extremo del perno para escalar.

g. Para sistemas Clase A, el espacio libre mínimo en peldaños, escalones, pernos para escalar, o miembros aplicables de la torre será de 10 cm medido verticalmente, 11 cm. medido horizontalmente y de 18 cm medido en profundidad.

CAPITULO II

- h. El espaciamiento horizontal entre los puntos de fijación de pernos para escalar no excederá de 61 cm.
- i. Para sistemas Clase A, deberá suministrarse una distancia libre de 61 cm. desde el centro de la facilidad de ascenso a cualquier obstáculo del lado del escalador.
- j. La pendiente de la escalera o facilidad para escalar estará entre los 90° y 60° respecto a la horizontal, en ningún caso la escalera o facilidad de ascenso se orientará hacia el escalador.
- k. La medida de los pasos, escalones y barandas será uniforme en toda la longitud de ascenso.

II.2.8 Guía de ondas

La guía de ondas es un tipo especial de línea de transmisión formado por un tubo metálico conductor, a través del cual se propaga energía electromagnética, interconectando eficientemente ondas electromagnéticas entre una antena y un transceptor. Las guías de onda se utilizan para la transmisión de energía de RF (radio frecuencia) en el rango de las frecuencias de microondas. Las configuraciones clásicas de una guía rígida rectangular y circular fueron suplantadas hace más de veinte años por guías de ondas elípticas. La guía rectangular hoy en día se utiliza principalmente como partes cortas de interconexión, codos, twist, conexión con la antena o con los equipos de radio, entre otros.

La guía de onda elíptica es la más utilizada para la alimentación de sistemas de antena, es la recomendada para la mayoría de las frecuencias en el rango entre 3.4 – 23.6 Ghz. Las guías largas, continuas y flexibles resultan menos costosas y fáciles de instalar comparadas con las rígidas.

CAPITULO II

El ensamblaje se realiza cortando la guía de onda a la longitud especificada y terminando con conectores. Además las guías de onda deben estar conectadas al sistema de puesta a tierra.

II.2.9 Escalerilla vertical y horizontal de guía de onda

La escalerilla vertical permite la sujeción de los cables guías de onda en toda la longitud de la torre, de esta forma las conexiones desde las antenas en la torre, mantienen seguridad de que los cables guías de onda estén protegidos contra vientos y movimientos bruscos, que conlleven a la posible atenuación en la línea de transmisión.

Los cables de guía de onda bajan verticalmente en toda la longitud de la torre, sujetos a la escalerilla vertical, y luego son llevados horizontalmente hasta la caseta de equipos por medio de la escalerilla horizontal.



Figura II.16 Escalerillas verticales de guía de onda en toda la longitud de la torre.

Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.

CAPITULO II



Figura II.17 Escalerillas horizontales de guía de onda.
Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.

II.2.10 Placa de Identificación

En la Norma CANTV NT-001:2007 “*Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soporte de Antenas de Transmisión*” se establece lo siguiente:

Al terminar la instalación de las torres nuevas, o después de la modificación de torres existentes, se colocará en lugar visible una placa de identificación elaborada en material metálico resistente a la intemperie, con caracteres en relieve bien legibles desde el suelo, con los siguientes datos:

- a) Nombre del fabricante.
- b) Uso (Torre o Soporte para: Microondas, UMF, VHF, entre otros.)
- c) Altura en metros.

CAPITULO II

- d) Cargas máximas: Tipos de antenas, dimensiones, posición y peso de las mismas.
- e) Fecha de instalación o de la última intervención.

II.2.11 Antenas

Una antena es un dispositivo conductor metálico de los sistemas de telecomunicación, diseñada para radiar y/o recibir ondas electromagnéticas, ésta adapta las ondas guiadas, que se transmiten por conductores o guías, a las ondas que se propagan en el espacio libre y/o viceversa. En el extremo transmisor de un sistema de telecomunicaciones con el espacio libre, las antenas convierten la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión, en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el extremo receptor, una antena convierte las ondas electromagnéticas en el espacio, en energía eléctrica de una línea de transmisión.

Los sistemas de telecomunicaciones emplean antenas para: realizar enlaces punto a punto, difundir señales móviles, de televisión o de radio, y recibir y transmitir señales en equipos portátiles. Sus características no cambian si las mismas son utilizadas para recepción o emisión de datos, ya que el principio de reciprocidad está implícito en ellas.

Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan elementales, si las antenas tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se denominan antenas resonantes y si las antenas son más grandes que la longitud de onda se conocen como directivas. Existen muchos tipos de antenas de telecomunicación, a continuación se describen las más utilizadas en las torres de telecomunicación:

CAPITULO II

II.2.11.1 Antenas Parabólicas

Una antena parabólica es una antena directiva (orienta la señal en una dirección determinada con un haz estrecho, pero de largo alcance) que consiste en un reflector en forma de paraboloides, que refleja energía de microondas irradiada por un sistema alimentador, ubicado en el foco del paraboloides y cuyo reflector también recibe la energía microondas emitida por otra antena, siendo captada por el sistema alimentador. El mecanismo de alimentación encierra la antena primaria, que normalmente es un dipolo o una red de dipolos. La antena primaria irradia ondas electromagnéticas hacia el reflector parabólico, que es un dispositivo pasivo que se asemeja en forma a un plato.

Si la energía electromagnética se irradia del foco hacia el reflector parabólico, todas las ondas irradiadas recorrerán la misma distancia cuando lleguen a la directriz (la recta WZ), en consecuencia, la radiación se concentra a lo largo del eje XY y hay anulación en otras direcciones. Un reflector parabólico que se use para recibir la energía electromagnética de otra antena, se comporta exactamente igual, ya que posee el principio de reciprocidad, y funciona por igual como antena receptora para ondas que lleguen en la dirección XY (normales a la directriz). Los rayos recibidos de todas las demás direcciones se anulan en ese punto.

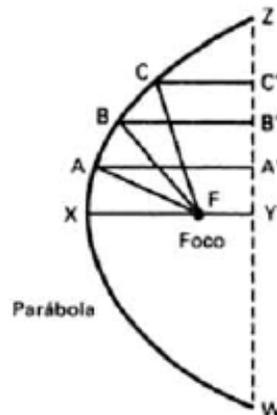


Figura II.18 Geometría de una Antena Parabólica

Fuente: Apuntes de clases. Profesor Luciano Diaz. Capítulo 11: Antenas de Microondas, Antenas.

CAPITULO II

La reflexión produce una emisión muy concentrada y direccional, por ello las antenas parabólicas son las responsables del enlace punto a punto. Debido a su gran directividad sus ondas viajan prácticamente en línea recta, lo que permite un enlace más eficiente con otra de estas antenas. La ganancia de potencia de una antena parabólica es inversamente proporcional a la longitud de onda elevada al cuadrado. El diámetro del plato o reflector es un factor importante en el diseño de antenas parabólicas, ya que mientras mayor es el área mayor es la ganancia de potencia y la directividad.

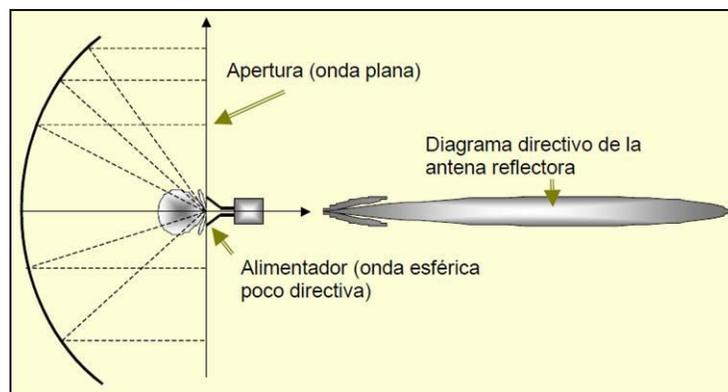


Figura II.19 Diagrama de Radiación de Antena Parabólica.

Fuente: Presentación Power Point

El experto en telecomunicaciones es el responsable de definir el tipo de antena parabólica a utilizar, considerando factores como: tipo de señal, distancia entre antenas, obstáculos presentes, factores ambientales, entre otros. A continuación los tipos más comunes de antenas parabólicas:

- Antenas Parabólicas Sólidas Estándar: se utilizan cuando la antena se encuentra ubicada en sitios donde los efectos ambientales no incidirían considerablemente en el funcionamiento actual y futuro de la antena, en casos en los que la prioridad de la señal no es elevada, o cuando se requiere que la antena sea liviana.
- Antenas Parabólicas Sólidas con Radomo (“Radome”) o Antena Parabólica Entamborada: las antenas con radomo funcionan igual que las anteriores, pero se les coloca un recubrimiento o radomo, el cual suele ser plano o esférico, y protege

CAPITULO II

la instalación de los efectos ambientales, reduce el efecto del viento, lluvia, granizo, nieve, entre otros, sin que ello afecte considerablemente sus propiedades electromagnéticas. Sin embargo, este recubrimiento suele ser muy pesado por lo que incrementa considerablemente el peso de la antena.

- Antenas Parabólicas Grilladas: se emplean mayormente cuando se desea reducir la oposición de la antena a las cargas de viento, pero las mismas suelen poseer baja ganancia y directividad con respecto a los demás tipos de antenas parabólicas.

II.2.11.2 Antenas Impresas o Paneles Celulares

Las antenas impresas (“*microstrip antennas*”) o paneles celulares consisten en un parche metálico impreso sobre un sustrato dieléctrico colocado encima de un plano metálico. El parche posee forma cuadrada, rectangular, dipolo o circular y sus dimensiones son del orden de media longitud de onda, es posible construir agrupaciones de parches combinando líneas y radiadores impresos. Sus principales limitaciones son su reducido ancho de banda, por tratarse de una estructura resonante, y su baja eficiencia, puesto que de la energía acumulada en la cavidad formada entre el parche y el plano, sólo una pequeña porción es radiada al espacio.

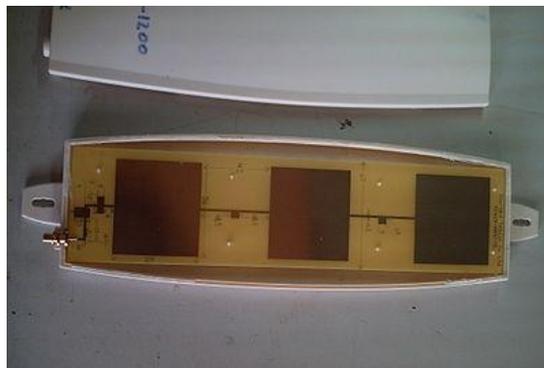


Figura II.20 Antena de parche microstrip.

Fuente:http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fa/Antena_sectorial_desmontada.jpg/400px-Antena_sectorial_desmontada.jpg

CAPITULO II

Las antenas *microstrip* son relativamente económicas de diseñar y de fabricar, debido a la geometría física bidimensional. Por lo general se emplean en UHF (“*Ultra High Frequency*”) y frecuencias más altas, como sistemas de radar, GPS (“*Global Positioning System*”), sistemas móviles (telefonía móvil, Wi-Fi y transmisión de datos) y sistemas de microondas, debido a que el tamaño de la antena está directamente relacionado a la longitud de onda en la frecuencia de resonancia. Una sola antena de parche proporciona una máxima ganancia directiva de alrededor de 6 a 9 dBi. Es relativamente fácil de imprimir un conjunto de parches en un sólo sustrato usando técnicas litográficas. Un conjunto de parches pueden proporcionar ganancias mucho más altas que un sólo parche con reducido costo adicional.

Este tipo de antenas es el que más se observa en cualquier torre de telecomunicaciones, ya que son las responsables de radiar en forma sectorial, es decir, con un patrón de radiación en forma de sector generalmente de 60° , 90° o 120° . En la mayoría de los casos se coloca la cantidad de antenas sectoriales necesarias para cubrir los 360° horizontalmente, y algunas veces es necesario colocar varias antenas hacia un mismo sector para aumentar la densidad de la señal y cubrir la demanda. Siempre se busca que no existan obstáculos entre el usuario y la antena, por ello se suelen colocar en sitios que le proporcionen altura a la misma, sin embargo, la radiación de este tipo de antenas verticalmente es limitada, lo que se soluciona inclinando la antena ligeramente hacia abajo.



Figura II.21 Antenas de microstrip en monoposte.
Fuente: <http://www.antenna-theory.com/arrays/main.php>

CAPITULO II

II.2.11.3 Antenas Dipolo

La antena dipolo es la más sencilla de todas, consiste en un hilo conductor de media longitud de onda a la frecuencia de trabajo cortado por la mitad, en cuyo centro se coloca un generador o una línea de transmisión.

Esta antena es muy común para señales de televisión, radio en FM y datos móviles, pero se emplean en la mayoría de los casos para cubrir la demanda de sectores reducidos, (oficina, casa, apartamento, entre otros) ya que este tipo de dispositivo no radia un campo muy extenso.



Figura II.22 Antenas dipolo en torre de telecomunicación.
Fuente: <http://personales.upv.es/~jlcorral/antenas/tema4.htm>

II.2.11.4 Antenas Yagui

Es una antena direccional que está constituida por un dipolo como elemento captador, y uno o varios elementos directores que se colocan delante del dipolo, consiguiéndose de esta forma estrechar el lóbulo de recepción de la señal a la vez que la alargan, lo que permite recibir señal a mayor distancia. También cuenta con un reflector colocado por detrás del dipolo, el cual impide la recepción de señal por detrás del dipolo, reforzando la anterior (onmidireccional).

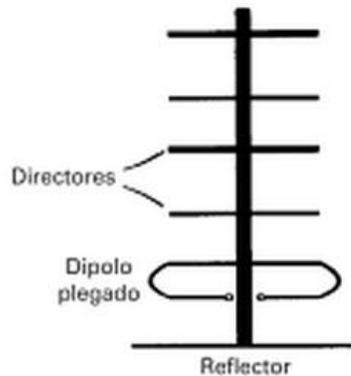
CAPITULO II

Figura II.23 Forma básica de una antena Yagi-Uda

Fuente: Apuntes de clases. Profesor Luciano Diaz. Capítulo 9: Antenas Uda-Yagi, Antenas.

Cuanto más elementos directores tenga la antena, mayor será la ganancia y la directividad, pero a partir de un cierto número de elementos, ya no se consigue aumentar la ganancia y directividad. Este tipo de antena puede ser utilizado para banda ancha o estrecha e incluso multibanda, presentando una serie de diferencias constructivas en función de la banda para la cual ha sido construida.

CAPITULO II

II.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LAS TORRES DE TELECOMUNICACIÓN.

II.3.1 Perfiles de la estructura de la torre

De acuerdo con el Artículo 4.3 de la norma CANTV NT-002:2007, se establece que:

El espesor mínimo de perfiles para miembros secundarios (que no resisten ninguna solicitación) es de 4 mm. y para miembros principales y planchas de conexión será de 5 mm. Estos espesores deberán ser incrementados por consideraciones de protección contra la corrosión al menos en 1.6 mm.

No se usarán pernos de menos de 12 mm. (1/2 plg.) de diámetro y la longitud que sobresale de las tuercas, una vez que estén apretadas firmemente, no será menor a 6 mm. (1/4 plg.) ni mayor a 10 mm. (3/8 plg.).

Los perfiles comúnmente utilizados en las torres son los angulares, en acero ASTM A-572 (alta resistencia), se utilizan tamaños comerciales, no se fabrican a la medida exacta requerida, algunos perfiles son 50x5, 75x7 (estos dos perfiles no se recomiendan como montantes), 90x7 (perfil que puede ser utilizado como montante y permite fijar adecuadamente los soportes de las antenas), luego siguen los perfiles 100x8, 100x10. No se suelen utilizar perfiles de mayores dimensiones, ya que los mismos son importados y no se consiguen en Venezuela.

Cuando las solicitaciones a las cuales se expone la torre son relativamente bajas, puede ser conveniente utilizar perfiles tubulares para su fabricación, ya que son más ligeros que los perfiles angulares y presentan un mayor momento de inercia, sin embargo, su costo es mayor y sus conexiones presentan mayor grado de dificultad, lo cual puede ser económicamente desfavorable, sobre todo en torres autosoportadas.

CAPITULO II

En monopostes se utilizan perfiles tubulares de acero, los cuales se atornillan mediante bridas, poseen un sistema muy similar a los sistemas de unión de perfiles en torres hechas con ángulos (tornillos ISO 8.8, Grado 5 ó ASTM A-325, arandelas planas, tuercas y arandelas de presión), estas torres son diseñadas para cargas medianas.

Las torres arriestradas de acuerdo con la altura y carga de antenas, se pueden fabricar con perfiles angulares, perfiles tubulares y chapa plegada con diagonales de perfiles soldados o empernados. En el caso de torres arriestradas, las guayas utilizadas son cables de acero galvanizado cuyo diámetro depende de la altura y las cargas de la torre, estos van anclados a un bloque de concreto enterrado, en el caso de torres situadas sobre terreno.

II.3.1.1 Componentes de la unión de los perfiles de la torre

Se trata del conjunto constituido por: tornillos o tuercas de cabeza hexagonal, arandela plana del lado de la cabeza del tornillo, tuerca de cabeza hexagonal con una arandela plana, una arandela de la presión (“*grower*”) del lado de la tuerca y palnut en el extremo del tornillo, para mantener el ajuste dado a la tuerca.

La arandela plana tendrá las especificaciones de DIN 7978, la arandela de presión será según la especificaciones de IRAM 5106 y la tuerca será hexagonal será de acuerdo con especificaciones de DIN 555.

Las arandelas de seguridad se utilizan en sistemas de conectores de tuerca y perno para asegurar que la tuerca permanezca en su lugar, éstas crean fricción, evitando que las tuercas se desatornillen cuando sufren vibraciones. Por lo tanto, las arandelas de seguridad protegen a la maquinaria y los aparatos contra vibraciones excesivas, deslizamientos y partes flojas, lo cual puede causar diversas fallas.

CAPITULO II

Tabla II.1 Propiedades de los pernos

Denominación del Perno	Propiedades Resistentes		Equivalente ISO 7412
	Limite Elástico, F_y (kgf/cm ²)	Resistencia a la rotura, F_u (kgf/cm ²)	
ASTM A-325	5415	7385	C8.8
ASTM-A490	7645	9140	C10.9

Fuente: Elaboración propia

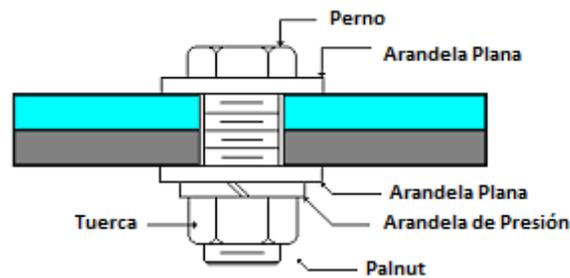


Figura II.24 Componentes de un unión emperrada en torres de telecomunicación

Fuente: Elaboración propia

II.3.1.2 Tipos de Conexiones.

Los tipos de conexiones que se deben realizar entre los perfiles de las torres de telecomunicación, están establecidos en el Manual de Estructuras de Acero Perfiles L, alas iguales Cuaderno N° 3 (El cual se presenta en el CD anexo a este TEG). El tipo de conexión depende de las cargas que se le apliquen a la torre, y las fórmulas utilizadas se encuentran en la Tabla N° 1 del manual.

La tabla que se coloca a continuación muestra las relaciones de esbelteces que se deben cumplir para diferentes miembros estructurales en una torre de telecomunicación.

CAPITULO II

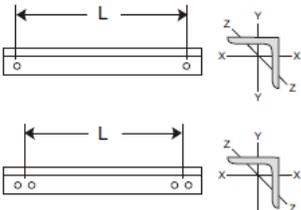
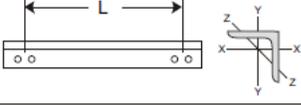
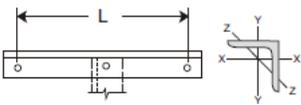
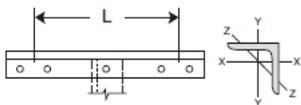
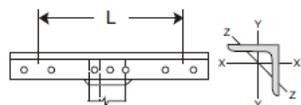
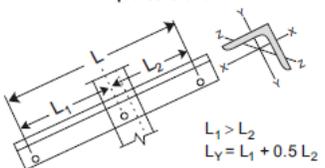
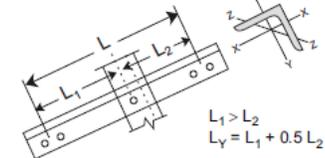
Tabla II.2 Relación de esbeltez efectiva para miembros principales de torres

MIEMBROS PRINCIPALES				
Miembro	Relación de esbeltez efectiva		Condiciones de aplicación	Fórmulas de diseño
	$\frac{kL}{r}$	Limites de validez		
Montantes (patas)	$\frac{L}{r}$	$0 \leq \frac{L}{r} \leq 150$	Pemos en ambas caras de la conexión	Curva 1
Otros miembros principales	$\frac{L}{r}$	$0 \leq \frac{L}{r} \leq 120$	Cargas concéntricas en ambos extremos	Curva 1a
	$30 + 0.75 \frac{L}{r}$	$0 \leq \frac{L}{r} \leq 120$	Carga concéntrica en un extremo. El otro extremo se conecta excéntricamente al panel no arriostrado,	Curva 2
	$60 + 0.50 \frac{L}{r}$	$0 \leq \frac{L}{r} \leq 120$	Ambos extremos se conectan excéntricamente al panel no arriostrado,	Curva 3
	$\frac{L}{r}$	$120 \leq \frac{L}{r} \leq 200$	Ambos extremos sin restricciones contra la rotación	Curva 4
	$28.6 + 0.762 \frac{L}{r}$	$120 \leq \frac{L}{r} \leq 225$	Restricción parcial contra la rotación en uno de los extremos	Curva 5
	$46.2 + 0.615 \frac{L}{r}$	$120 \leq \frac{L}{r} \leq 250$	Restricción parcial contra la rotación en ambos extremos	Curva 6

Fuente: Manual de Estructuras de Acero Perfiles L, alas iguales Cuaderno N° 3. Pág. 6

CAPITULO II

Tabla II.3 Diseño de arriostramientos en torres

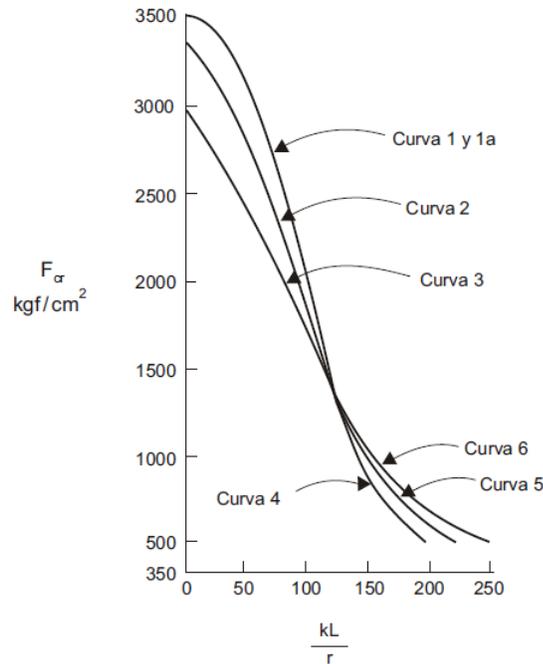
CRITERIOS DE DISEÑO		
Miembros y tipos de conexión	Relación de esbeltez	Fórmulas de diseño
<p>Perfiles individuales</p> 	$\frac{L}{r_z}$	$\frac{L}{r_z} \leq 120$ Curva 3 $\frac{L}{r_z} > 120$ Curva 4
		$\frac{L}{r_z} \leq 120$ Curva 3 $\frac{L}{r_z} > 120$ Curva 6
<p>Perfiles individuales con apoyo intermedio</p> 	$\frac{L}{r_y}$; $\frac{0.5 L}{r_z}$	$\left(\frac{L}{r_z}\right)_{m\acute{a}x} \leq 120$ Curva 3 $\left(\frac{L}{r_z}\right)_{m\acute{a}x} > 120$ Curva 4
		$\left(\frac{L}{r_z}\right)_{m\acute{a}x} \leq 120$ Curva 3 $\frac{L}{r_z} > 120$ Curva 5 $\frac{0.5 L}{r_z} > 120$ Curva 6
		$\left(\frac{L}{r}\right)_{m\acute{a}x} \leq 120$ Curva 3 $\left(\frac{L}{r}\right)_{m\acute{a}x} > 120$ Curva 6
<p>Perfiles individuales que se cruzan</p>  <p>$L_1 > L_2$ $L_y = L_1 + 0.5 L_2$</p>	$\frac{L_y}{r_y}$; $\frac{L_1}{r_z}$	$\left(\frac{L}{r}\right)_{m\acute{a}x} \leq 120$ Curva 2 $\left(\frac{L}{r}\right)_{m\acute{a}x} > 120$ Curva 4
 <p>$L_1 > L_2$ $L_y = L_1 + 0.5 L_2$</p>		$\left(\frac{L}{r}\right)_{m\acute{a}x} \leq 120$ Curva 2 $\frac{L_x}{r_x} > 120$ Curva 6 $\frac{L_1}{r_z} > 120$ Curva 5

Fuente: Manual de Estructuras de Acero Perfiles L, alas iguales Cuaderno N° 3. Pág. 7

Las curvas que se mencionan en las tablas anteriores se pueden encontrar en el Manual de Estructuras de Acero Perfiles L, alas iguales Cuaderno N° 3.

CAPITULO II

Gráfico II.I Valores del factor de longitud efectiva.



Fuente: Manual de Estructuras de Acero Perfiles L, alas iguales Cuaderno N° 3. Pág. 8

II.3.2 Plancha Base

La plancha base debe ser de acero de calidad ASTM A-36, y el espesor de la misma será obtenido como se muestran más adelante en este trabajo. Hay que tener en cuenta que para torres de telecomunicación que no posean antenas microondas (las cuales requieren ver a otro punto y su torsión y deflexión deben ser mínimas), pueden ser trabajadas como membranas (planchas más delgadas), ya que no se necesita tanta rigidez en la misma, de resto serán trabajadas como planchas a corte y momento.

II.3.3 Anclajes

Los anclajes de acero son usados para transmitir tensiones de corte y de tracción a los miembros de concreto, éstos se dividen en dos grandes grupos: los embebidos en concreto fresco y los post-instalados en concreto endurecido. Uno de los métodos más usados para la

CAPITULO II

transmisión de cargas de una superestructura metálica al terreno, es el uso de anclajes en el concreto reforzado. Constantemente se desarrollan nuevos tipos de anclajes y materiales para la adherencia de los mismos al concreto, con la finalidad de potenciar su desempeño, según sea necesario. En Venezuela la normativa vigente es la COVENIN 1753:2006 “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural”.

Los anclajes embebidos en concreto son colocados en el encofrado previo al vaciado del concreto. Sus ventajas son que pueden ser colocados con precisión respecto a las barras de refuerzo, además existen muchos tamaños, longitudes y configuraciones de anclajes posibles. Entre sus desventajas se tiene que los anclajes que no se encuentren fijados adecuadamente pueden moverse durante el vaciado del concreto, además los anclajes se pueden ver afectados por un fraguado deficiente del concreto y no pueden ser movidos luego de su colocación.

Los anclajes post-instalados son colocados en agujeros taladrados, luego del endurecimiento del concreto. Su ventaja es que pueden ser colocados de manera precisa con respecto a los elementos de los miembros que se van a conectar con ellos. Algunas de sus desventajas son que la localización de los anclajes con respecto a las barras de refuerzo puede ser incierta, el taladrado de los agujeros para los anclajes puede causar daños en las barras de refuerzo, este tipo de anclajes generalmente alcanza menos resistencia con una misma longitud y diámetro que los anclajes embebidos, la inspección para anclajes post-instalados suele ser más estricta que para anclajes embebidos.

Algunas de las barras más comúnmente utilizadas para anclajes son las siguientes:

II.3.3.1 SAE 1020

Acero de bajo carbono, blando y que responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, y por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia. Se utiliza en ejes, cadenas, remaches, tornillos, pernos sujetadores, engranajes,

CAPITULO II

piñones, piezas de maquinaria, pasadores de baja resistencia, prensas y levas. Su resistencia a la tracción es de 4000 kgf/cm^2 a 4500 kgf/cm^2 .

II.3.3.2 SAE 1045

Acero de medio carbono, posee baja soldabilidad y buena maquinabilidad, responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Por su dureza y tenacidad es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria. Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general de resistencia media, tales como: ejes, semiejes, cigüeñales, engranajes, piñones, cuñas, tornillos, pernos, martillos, pasadores, remaches, partes de maquinaria y herramientas agrícolas. Su resistencia a la tracción es de 6300 kgf/cm^2 a 7300 kgf/cm^2 .

II.3.3.3 Barra petrolera A193 Grado B7

Acero de medio carbono, aleado (baja aleación de cromo-molibdeno), tratado térmicamente. Su resistencia a la tracción es 8790 kgf/cm^2 (125000 psi) y su resistencia a la cedencia es de 7390 kgf/cm^2 (105000 psi). Es uno de los aceros de baja aleación más populares, por el espectro amplio de propiedades útiles en piezas que se someten a esfuerzos, con relación a su bajo costo. Al templearlo se logra muy buena dureza con una gran penetración de la misma, teniendo además un comportamiento muy homogéneo. Tiene también una buena resistencia al desgaste. Una de las aplicaciones más importantes de este grado de acero, es en las instalaciones industriales de petróleos, donde se cuenta con recipientes a presión, recipientes atmosféricos, equipos dinámicos y sistemas de tuberías para servicios de alta y baja temperatura que contienen juntas bridadas y que requieren para su unión el uso de espárragos, tornillos o birlos (sujetadores roscados).

CAPITULO II

II.3.3.4 Pernos químicos

Son pernos que se conectan al concreto envejecido por medio de un químico, generalmente consisten en barras roscadas o barras conformadas que se cementan utilizando compuestos químicos de dos componentes formados por poliéster, vinilo o epóxicos. El químico comúnmente utilizado en Venezuela es Sikadur-31, que posee las siguientes características:

- ✓ Compresión a 7 días: 650 kgf/cm² (ASTM D 695)
- ✓ Adherencia al concreto a los 7 días: 120kgf/cm² (ASTM C 882)
- ✓ Absorción del agua a 1 día 0.25% (ASTM D 570)
- ✓ Módulo de Elasticidad a los 7 días: 26000 kgf/cm² (ASTM D 695)

II.3.4 Sistema de Puesta a Tierra

Para el pararrayos y sistema de puesta a tierra se utilizan cables de cobre desnudo 2/0, 3/0 y 4/0 (AWG/MCM).

Tabla II.4 Características de cables de cobre para aterramiento

Calibre	Hilos x mm	Sección Transversal (mm ²)	Diámetro externo (mm)	Peso (kg/km)	Resistencia Nominal DC (ohm/km)	Ampacidad permitida (conductor al aire libre)
2/0	19x2.13	67.43	10.64	613.9	0.261	275
3/0	19x2.39	85.01	11.94	772.9	0.207	320
4/0	19x2.68	107.2	13.41	971.9	0.164	370

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO II

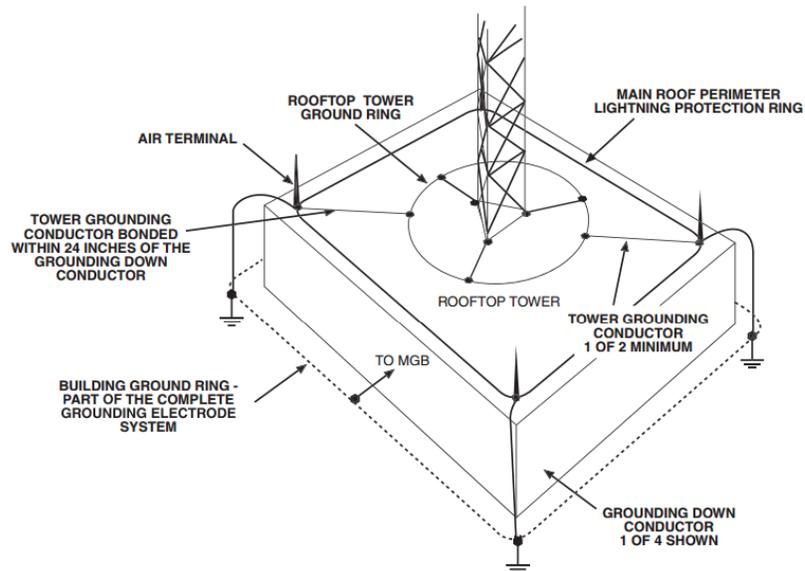


Figura II.25 Sistema puesta a tierra de torre sobre edificio de una torre.
 Fuente: MOTOROLA, INC., STANDARDS AND GUIDELINES FOR COMMUNICATION SITES, CHAPTER 4: EXTERNAL GROUNDING (EARTHING), 2005, Pág. 4-81

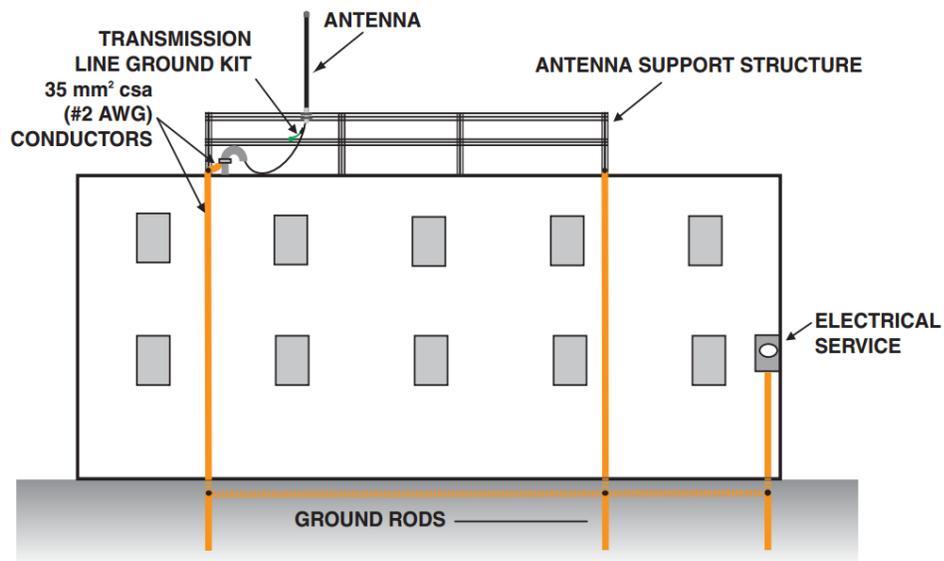
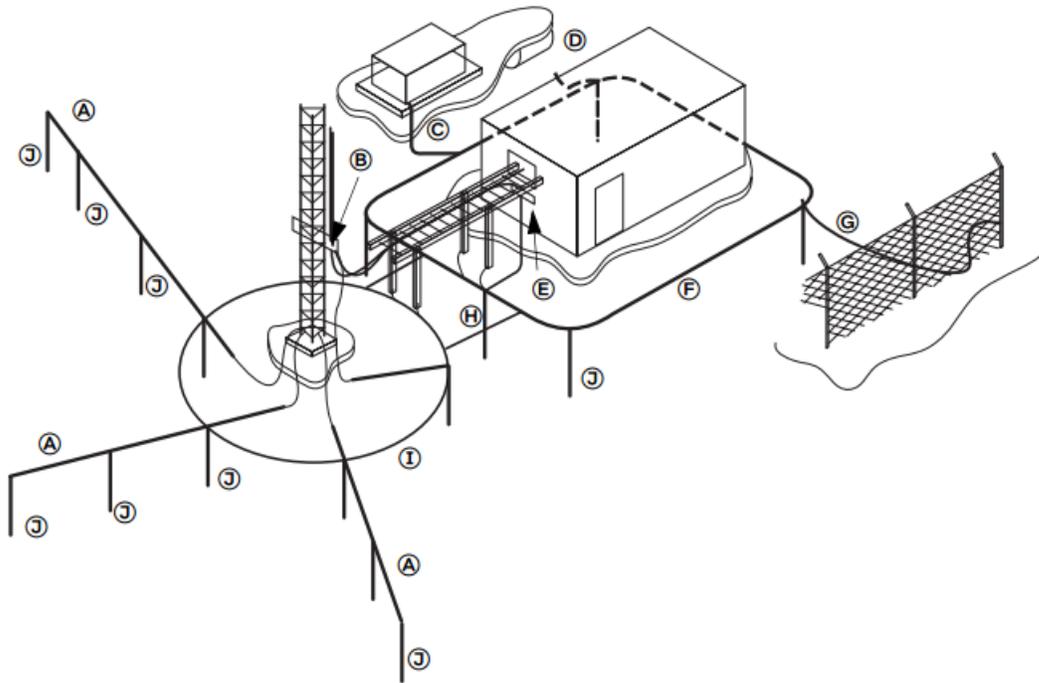


Figura II.26 Sistema puesta a tierra de antena sobre edificio de antena.
 Fuente: MOTOROLA, INC., STANDARDS AND GUIDELINES FOR COMMUNICATION SITES, CHAPTER 4: EXTERNAL GROUNDING (EARTHING), 2005, Pág. 4-77

CAPITULO II



- A) Radiales de puesta a tierra.
- B) Barra TGB (*Tower ground Bus Bar*).
- C) Conductor de puesta a Tierra del Generador.
- D) Conductor de puesta a tierra de tanque de combustible del Generador.
- E) Barra EGB (*External Ground Bus Bar*).
- F) Anillo de puesta a tierra de la estación base.
- G) Puesta a tierra de la cerca perimetral.
- H) Barra Copperweld en el anillo de la radio base.
- I) Anillo de Tierra de la Torre.
- J) Electrodo de tierra (Barras Copperweld).

Figura II.27 Descripción de los componentes del sistema de puesta a tierra en general.

Fuente: MOTOROLA, INC., STANDARDS AND GUIDELINES FOR COMMUNICATION SITES, CHAPTER 4: EXTERNAL GROUNDING (EARTHING), 2005, Pág. 4-8

CAPITULO II

II.3.4.1 Electrodo

Barra de acero laminado en caliente, recubierta de cobre electrolítico utilizada en la puesta a tierra de redes de distribución de alta, media y baja tensión, estas barras van unidas al cable de puesta a tierra formando una especie de anillo. Este anillo deberá estar enterrado con un recubrimiento en concreto de por lo menos 10 cm. de espesor. La barra más utilizada es la tipo Copperweld convencional.

Todas las uniones entre conductores de tierra a los anillos deben ser de cobre o cualquier otro material resistente a la corrosión, y deben estar conectadas mediante una soldadura exotérmica (Cadweld) o sujetadas mediante abrazaderas a presión tipo C-Tab.

Los electrodos del sistema de aterramiento consisten en varillas de cobre o un material similar, de una longitud no menor a 1.5 metros y 5/8” de diámetro como mínimo, los cuales deben estar enterrados a una profundidad de al menos su propia longitud, en caso de encontrar rocas en el terreno las barras de los electrodos pueden enterrarse en forma oblicua con un ángulo no mayor a 45° de la vertical. No se utilizarán conexiones que dependan únicamente de soldaduras blandas.

Las abrazaderas de puesta a tierra deben ser aprobadas para los materiales de los electrodos de puesta a tierra y sus conductores, y cuando se utilicen en barras, tubos u otros electrodos enterrados, serán también adecuadas para usarse directamente enterradas. No se conectará más de un conductor al electrodo de puesta a tierra, por medio de una abrazadera única o accesorio, a menos que la abrazadera o el accesorio sean del tipo aprobado para varios conductores.

II.3.4.2 Barra TGB (*Tower Ground Bus Bar*)

Placa de cobre o de acero recubierta en cobre, la cual sirve para la puesta a tierra de todos los equipos. Los mismos llegan con un cable hasta esta placa y de aquí sale un sólo

CAPITULO II

cable de cobre calibre AWG #6 o mayor, que va conectado al anillo de puesta tierra, este cable irá en una tubería de PVC, color verde hasta el anillo.

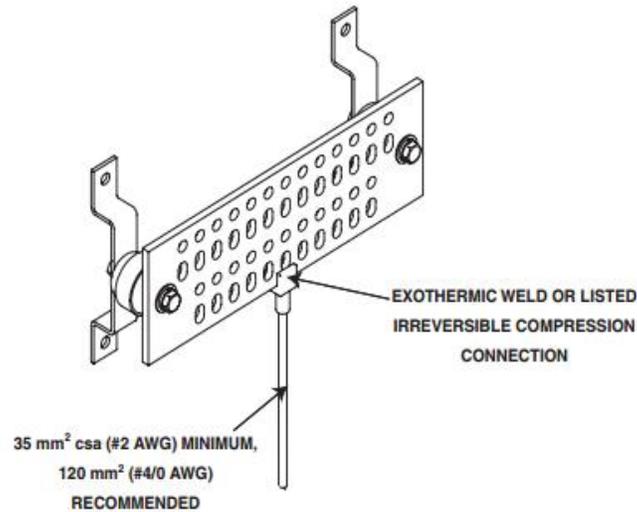


Figura II.28 Barra TGB y EGB

Fuente: MOTOROLA, INC., STANDARDS AND GUIDELINES FOR COMMUNICATION SITES, CHAPTER 4: EXTERNAL GROUNDING (EARTHING), 2005, Pág. 4-31

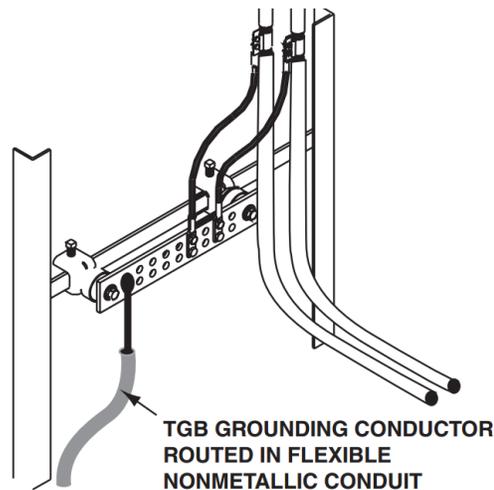


Figura II.29 Conexión la barra TGB las guías de ondas.

Fuente: MOTOROLA, INC., STANDARDS AND GUIDELINES FOR COMMUNICATION SITES, CHAPTER 4: EXTERNAL GROUNDING (EARTHING), 2005, Pág. 4-64

CAPITULO II

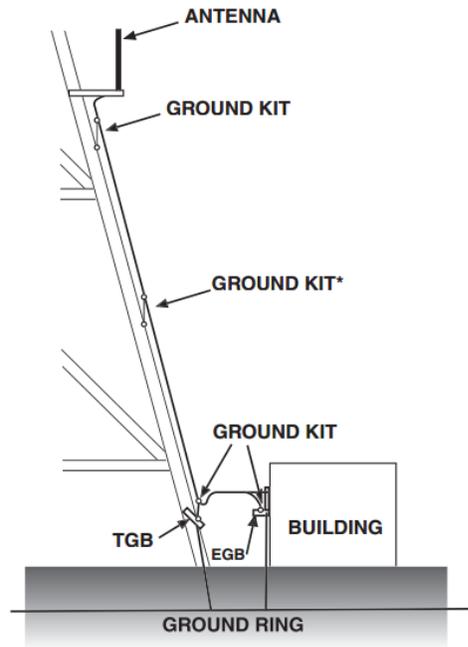


Figura II.30 Localización del kit de puesta a tierra en la línea de transmisión.
Fuente: Standars and Guidelines for Communication Sites, Chapter 4, Page 4-66

II.3.5 Balizamiento o sistema de iluminación nocturna

Luz de obstrucción con uno o dos faros rojos y bombillo incandescente de 300 watts intermitente y electrónico, con los accesorios correspondientes como cable, tubería galvanizada, cajas de paso, uniones y demás accesorios galvanizados o tipo intemperie.

Algunas veces se utiliza fotocelda, que se emplea para recargar la batería del sistema de balizamiento durante el día, y lograr independencia del sistema torre durante la noche.

II.3.6 Pintura de iluminación y señalamiento diurno

La pintura de la torre debe ser en dos capas, la primera es un fondo epóxico para superficies galvanizadas, y luego se coloca una pintura de acabado mate con poliuretano en colores blanco y naranja o rojo, en siete franjas de acuerdo con lo estipulado en las “Normas de Señalamiento de Obstáculos” de la Dirección de Aeronáutica Civil. Se debe tener especial

CAPITULO II

cuidado al pintar las torres, ya que la pintura posee la función de prevenir la corrosión, por esta razón el mantenimiento debe ser periódico.

Una de las bases utilizadas frecuentemente es el primario para torres de telecomunicaciones, Línea B50 de Sherwin Williams, que es un primario de alta calidad a base de látex acrílico estirenado, diseñado para ser utilizado específicamente en torres de transmisión de telefonía y torres de alta tensión, presenta alta resistencia a la corrosión en superficies galvanizadas, es a base de agua, es de secado rápido y posee alta adherencia. Diseñado especialmente para aplicarse como primario sobre superficies expuestas a temperaturas bajas y alta humedad.

II.3.7 Plataformas de descanso y trabajo

El material a utilizar como piso de estas plataformas, suele ser malla electrosoldada galvanizada con varilla de al menos 6 mm. de diámetro, cuadros de 5x5 cm. con apoyos horizontales a cada 0.50 m. y un apoyo longitudinal de cada lado de la plataforma, galvanizado en caliente según ASTM A-123. Una de las formas de instalar este tipo de plataformas, es colocando la malla cubriendo toda la superficie a utilizar como plataforma, con excepción de la parte que permitirá el acceso a la misma, ubicada inmediatamente arriba de la escalera de ascenso de personal, dicho acceso se puede cubrir con una puerta rebatible del mismo material, de forma que permita el acceso y sea seguro cuando el personal trabaje sobre la plataforma.

II.3.8 Escalera de acceso para el personal

La Norma venezolana CANTV NT-001:2007 en su Sección 9.1.1 establece que:

Las escaleras deben ser construidas con ángulos de L (40 x 40 x 4) mm, con peldaños de acero 5/8" de diámetro, de 60 cm. de ancho mínimo, espaciados 0.25 m. mínimo ó 0.40 m máximo. Se construirá en tramos de longitud tal que puedan ser galvanizados por inmersión en caliente según ASTM A 123.

CAPITULO II

La protección para la escalera porta hombre a instalar será de 0.60 m. de diámetro o equivalente en el caso que la misma sea hexagonal, o triangular con un sistema de protección confiable (aro guarda hombre). El aro guarda hombre debe estar instalado en toda la longitud de la torre hasta el acceso a la plataforma. El acceso a las plataformas de trabajo o descanso deberá ser lo más segura posible. Los anillos de protección serán de un diámetro suficiente para permitir el libre paso de una persona en ambas direcciones, se deben espaciar cada 80 cm. y llevar tres (3) platinas longitudinales.

Las escaleras deben diseñarse y construirse de manera que no sea necesario salir de la torre para acceder a la plataforma. La escalerilla porta hombres debe ser instalada sobre una de las caras externas de la torre, de forma que quede centrada respecto a dicha cara y a una distancia de 0.15 m. La escalerilla debe estar anclada al suelo mediante pedestal de concreto.

Adicionalmente, se instalará una línea de vida con cable de acero galvanizado de 10 mm. de diámetro al centro de la escalerilla, anclado a la estructura con el amortiguador de energía recomendado de acuerdo con las Normas ANSI, EN (Comité Europeo de Normalización) y CSA (*Canadian Standards Association*), que para tal efecto existen.

II.3.9 Escalerillas para guías de onda

II.3.9.1 Escalerillas verticales

Las escalerillas verticales deben ser construidas con perfiles L de (40x40x4) mm, travesaños espaciados 0.60 m y desde 0.40 m hasta 1.00 m de ancho de acuerdo con la cantidad de cables que pasarán por la misma. Tanto las escalerillas como sus correspondientes accesorios deben ser galvanizados en caliente. Todos los bordes de los perfiles deben quedar contruidos sin filos ni aristas vivas, los cuales deben ser eliminados antes de realizar el galvanizado en caliente, que cumplirá con la Norma ASTM A 123. Las escalerillas y sus accesorios deben ser pintadas con pintura anticorrosiva de la misma clase que la estructura principal.

CAPITULO II

II.3.9.2 Escalerillas horizontales

Las escalerillas horizontales con sus respectivos soportes y accesorios, deberán ser galvanizadas en caliente y tienen que ser construidas con perfiles L (40x40x4) mm., con travesaños espaciados cada 0.60 m. El ancho de las escalerillas debe ser desde 0.40 m. hasta 1.00 m. dependiendo de la cantidad de cables que pasarán por la misma. Las escalerillas pueden variar de dimensiones, altura, recorrido y forma de instalación dependiendo del equipo a colocarse. Su recorrido será especificado en los planos del proyecto. Todos los bordes de los perfiles deben quedar contruidos sin filos ni aristas vivas, los cuales deben ser eliminados antes de realizar el galvanizado en caliente, que cumplirá con la Norma ASTM A-123. Las escalerillas y sus accesorios deben ser pintadas con pintura anticorrosiva de la misma clase que la estructura principal.

II.3.10 Soportes de equipos

Los equipos que se colocan comúnmente en los sistemas de telecomunicación son: las antenas parabólicas para enlaces punto a punto entre torres, los paneles celulares que reciben y envían la señal de los teléfonos celulares y de los equipos, los equipos RRU que son aquellos que realizan la filtración de la señal de radiofrecuencia, amplifican la señal, realizan el proceso de conversión de frecuencia, y convierten la señal analógica de la frecuencia intermedia a la señal numérica de la banda base y viceversa, y las antenas GPS.

Por ello se requieren soluciones para la colocación de los equipos en la estructura de la torre, que cumpla con los requerimientos para generar un adecuado funcionamiento del equipo a instalar, y que adicionalmente, generen la menor incidencia posible sobre la torre. A continuación se realiza una breve descripción de los soportes con imágenes explicativas.

II.3.10.1 Soporte de antenas parabólicas

Son soportes estándar de acero galvanizado que permiten fijar y graduar la antena parabólica, para que ésta pueda apuntar directamente al sitio deseado. Estos soportes suelen

CAPITULO II

tener lo que se conoce como “frenos”, que son elementos metálicos que se colocan a las antenas para impedir el movimiento de las mismas cuando las fuerzas de viento son muy grandes, de forma que se genere el mínimo movimiento posible. Estos frenos se le pueden colocar a las antenas parabólicas para que no se salgan de foco o a los paneles celulares para ayudar al soporte.



Figura II.31 Torre con múltiples antenas parabólicas, se observa la configuración de su soporte.
Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.

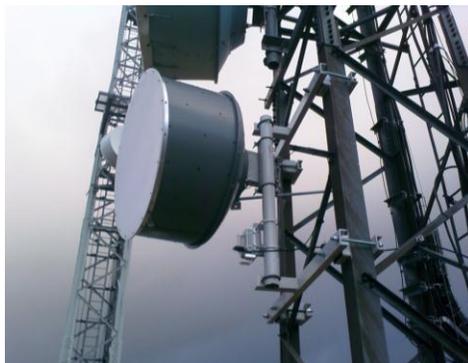


Figura II.32 Soporte de antena parabólica en dos montantes.
Fuente: <http://www.inframetel.com/>

CAPITULO II



Figura II.33 Detalle de soporte para antena parabólica en una montante.
Fuente: <http://www.inframetel.com/>

II.3.10.2 Soporte de paneles celulares

Este soporte está formado por tubos de hierro galvanizado, que soportan al panel celular por medio de dispositivos que la antena posee, y que además permiten graduar su ángulo de inclinación.



Figura II.34 Soporte de páneles celulares.
Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.



Figura II.35 Soporte para páneles celulares en monoposte.
Fuente: Fotos propias, autorizadas por DIGITEL.

CAPITULO III

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO.

III.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

De acuerdo al problema planteado referido al Proyecto Estructural de las Estructuras de Transición de Torres de Telecomunicación en Azoteas de Edificaciones, y en función de los objetivos, se incorpora una investigación exploratoria, que tiene como finalidad avanzar en el conocimiento donde una problemática no está lo suficientemente desarrollada, en este caso las estructuras de transición o apoyo de las torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones, así como lograr definir nuevos aspectos de la misma.

III.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

En el caso que nos ocupa, la investigación planteada, cuyo objetivo central está referido a documentar y comparar las metodologías de proyecto (análisis, diseño y detallado) utilizadas por los fabricantes de torres de telecomunicación, para garantizar el empotramiento de las torres en las azoteas de edificaciones, cumpliendo con los requisitos de las normas ANSI/TIA 222-G *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas* y CANTV NT-001:2007 *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*, se aplicará un diseño de investigación no experimental del tipo transeccional descriptivo, que como los refieren Hernández Sampieri, R. Fernández Collado C. y Baptista Lucio P. en su libro “Metodología de la investigación” (2003), son estudios que se proponen la descripción de las variables, tal como se manifiestan y el análisis de éstas, buscando indagar la incidencia de una o más variables en una determinada situación. El análisis se realizará mediante el modelado de la estructura de transición que ancla una torre de telecomunicación en la azotea de una edificación preseleccionada estructuralmente para resistir las acciones del viento o del sismo, utilizando los métodos de la teoría del análisis y el diseño estructural, y empleando como herramientas adicionales de cálculo el software de

CAPITULO III

última generación para cálculo estructural SAP 2000, y Excel, por lo tanto no se efectuaron ensayos de laboratorio.

Se requiere adicionalmente de un diseño de investigación documental y de campo, ya que la información recolectada para la elaboración de este trabajo especial de grado proviene de la investigación de material bibliográfico, trabajos de investigación anteriores y observación de campo.

III.3 PROCEDIMIENTO.

Las tareas necesarias para alcanzar los objetivos propuestos se desarrollaron de la siguiente manera:

1. Revisión bibliográfica sobre las telecomunicaciones, los tipos de antenas y demás equipos utilizados para la transmisión de datos y su funcionamiento básico, importancia de la utilización de torres de telecomunicación y proceso de transmisión de la señal.

2. Revisión bibliográfica de los distintos tipos de torres de telecomunicación existentes y sus principales diferencias en cuanto a sus características físicas y su utilización, partes de las torres de telecomunicación, materiales utilizados a nivel nacional para la fabricación de torres de telecomunicación, sus componentes y su estructura de transición, soluciones de fijación de las torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones.

3. Aplicación de entrevistas a distintas compañías dedicadas al análisis estructural de torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones en Venezuela, tales como: PRINCIVI, C.A., INESA, C.A. y BC&A Ingenieros Consultores.

4. Adquisición de conocimientos y destrezas en el manejo del software de análisis estructural SAP 2000, así como aplicación del mismo para el caso específico de torres de telecomunicación.

5. Diseño de caso de estudio hipotético empleando el programa de diseño estructural SAP 2000, siguiendo los parámetros y restricciones de diseño especificadas en la Norma CANTV 2007 *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para*

CAPITULO III

Antenas de Transmisión. Verificación manual de la estructura de transición de la torre de telecomunicación seleccionada y las conexiones entre la torre y dicha estructura. Elaboración de hoja de Excel útil en el cálculo la estructura de transición de la torre de telecomunicación y las conexiones entre la torre y dicha estructura.

6. Obtención de permisos para acceso a algunas torres de telecomunicación sobre edificaciones, concedidos por la empresa de telefonía móvil DIGITEL.
7. Realización de correcciones propuestas por el Tutor.
8. Elaboración de Espectro de piso y elaboración de hoja de Excel para su cálculo.
9. Culminación del modelo desarrollado en el programa SAP 2000 y realización de últimas correcciones y arreglos propuestos por el Tutor y otros profesionales del campo de estudio.
10. Determinación de los resultados finales y tabulación de los mismos.
11. Elaboración de las conclusiones pertinentes y las recomendaciones en base a los resultados obtenidos y las investigaciones realizadas.

CAPITULO IV

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS DE TRANSICIÓN

IV.1 Estructuras de Transición

Existen diversas formas de anclar una torre de telecomunicación en la azotea de una edificación, muchas veces es necesario colocar una estructura de transición capaz de transmitir correctamente las cargas de la torre al edificio que sirve de soporte, sin embargo, la estructura de transición a colocar, depende principalmente de las características de la edificación sobre la cual se desea situar la torre, como lo son la antigüedad de la edificación y estado de la misma, el uso que se le está dando o se le pretende dar a la edificación, el área disponible en la azotea, la ubicación y tamaño de columnas y vigas, entre otros aspectos.

Se pueden diseñar variadas soluciones de estructuras de transición o apoyo entre la torre y la edificación, pensadas específicamente para un caso único y específico, estas soluciones pueden ser calculadas mediante ingeniería básica y resuelven las dificultades típicas para la colocación de las torres de telecomunicación sobre las azoteas, obteniendo inclusive soluciones poco convencionales, sin embargo, no existe ningún ente o norma que controle el proyecto de los mismos, y los proyectistas y constructores se dan a la tarea de mantener estos diseños lo más ocultos posibles, para que no puedan ser fácilmente imitados por otras compañías, generando una gran variedad y desinformación en la forma de trabajar de cada una, lo que puede conllevar a errores conceptuales de diseño difíciles de detectar y generar grandes problemas constructivos que pueden afectar la integridad de las obras y personas.

Debido a la problemática existente, en relación a la dificultad de obtención de los planos bajo los cuales fue construida una edificación, se debería hacer otro tipo de estudios que permitan conocer el armado de las columnas y vigas, estos estudios suelen ser costosos, muy complicados de realizar y requieren de equipos de especializados y de alta tecnología.

CAPITULO IV

Para colocar una torre de telecomunicación sobre la azotea de una edificación es necesario realizar una adecuada distribución de cargas, por lo que es recomendable que la torre esté anclada preferiblemente a las columnas o vigas de la edificación, y que las mismas estén debidamente revisadas para garantizar que son capaces de soportar las nuevas cargas que se le estarían transmitiendo. La mayoría de las veces es difícil que las patas o montantes de la torre coincidan perfectamente con las vigas y columnas del edificio, por lo que se hace necesaria la utilización de estructuras de transición, que permitan una adecuada distribución de las cargas a las vigas y columnas.

Existen soluciones poco convencionales que no afectan significativamente la azotea sobre la cual se está instalando la torre, como lo son la colocación de sistemas de contrapeso, sin embargo, la utilización de estas estructuras tiene una gran desventaja, ya que se requieren grandes pesos en la base de la torre para anular las cargas horizontales de viento bajo las cuales estaría sometida la misma, esta gran masa puede afectar la losa de techo del edificio si no se toma en consideración la carga adicional, pudiendo afectar el sistema antisísmico del edificio, al mover el centro de gravedad de la edificación.

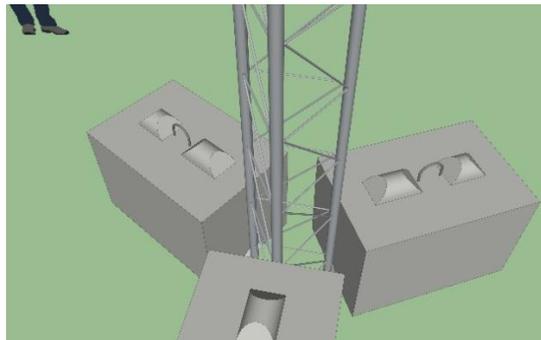


Figura IV.1 Sistemas de contrapeso para torre.

Fuente: <https://community.ubnt.com/t5/Business-Talk/Non-Penetrating-Tower/td-p/408790>

Otro tipo de solución es la estructura en forma de trípode, ésta se coloca en monopostes y su función es trabajar como arriostramientos laterales para evitar el movimiento del mismo, pero la desventaja de su uso es que esta solución requiere de pernos de anclaje sobre la estructura de soporte, se emplean para postes de baja altura, ya que los arriostramientos son

CAPITULO IV

realizados con ángulos y por práctica general estos arriostramientos forman un círculo de radio mínimo igual a la mitad de la altura. Este tipo de solución normalmente se utiliza para anclar la estructura principal (monopolo) sobre una columna directamente y los arriostramientos se colocan preferiblemente sobre vigas o sobre la misma losa, ya que estos últimos no recibirán grandes cargas.



Figura IV.2 Soporte en forma de Trípode con perfiles angulares para Monopolo
Fuente: Foto propia

Una de las soluciones más utilizada por los fabricantes de torres es la de anclar directamente la torre en la losa de techo, algunas veces sin coincidir con el sistema estructural del edificio (vigas o columnas), esto se hace más frecuente si la losa es maciza y verificando que la misma sea capaz de resistir las nuevas cargas.

CAPITULO IV

Figura IV.3 Torre anclada directamente sobre la losa de techo de la edificación.

Fuente: Foto del Ing. Arnaldo Gutiérrez

Otra solución, que es la estudiada en el presente Trabajo Especial de Grado, es la de colocar una estructura de transición, que estará conectada directamente al sistema estructural del edificio (vigas o columnas) mediante pernos de anclaje y en algunos casos planchas con pernos en la parte inferior, esta solución es una de las más confiables, ya que la misma se basa en una estructura que recibe todas las cargas de la torre (peso propio, peso de antenas y equipos, viento, entre otras.) y las distribuye de manera adecuadamente al sistema estructural del edificio. Esta estructura de transición consta de una serie de vigas de acero, que se anclan a las columnas o vigas, y sobre la misma reposa la torre y en algunos casos los equipos que se necesitan para el funcionamiento del sistema de telecomunicación.

CAPITULO IV

Figura IV.4 Foto de torre y estructura de transición
Fuente: Foto del Ing. Arnaldo Gutiérrez

Existen soluciones más arriesgadas debido a la necesidad inminente de colocar una torre de telecomunicación en un sector o sitio determinado. Una solución inusual para soportar torres sobre edificaciones es la de anclar la estructura de transición de manera horizontal, sin ningún tipo de afectación a la losa, como se muestra en las Figuras IV.5 y IV.6. Estas soluciones ingeniosas ponen en evidencia el incremento en la necesidad de utilización de torres de telecomunicación sobre azoteas. Dependiendo de la configuración de la azotea y las restricciones en su uso, se requerirá de ingenieros mayormente capacitados para resolver problemas como el mostrado y garantizar seguridad para los habitantes y estructuras existentes.

CAPITULO IV



Figura IV.5 Torre con estructura de transición anclada horizontalmente al núcleo de ascensores.
Fuente: Fotos propias, cortesía Digitel.



Figura IV.6 Detalle de estructura de transición anclada al núcleo de ascensores.
Fuente: Fotos propias, cortesía Digitel.

CAPITULO IV

IV.2 Diseño de las estructuras de transición

En este subcapítulo se puntualizan las verificaciones correspondientes al diseño de las estructuras de transición, las cuales cumplirán con todos los parámetros de diseño establecidos en la Norma Americana AISC 360-10 “*Specification for Structural Steel Buildings*”, ya que ésta se encuentra vigente, y emplea estrictos parámetros de revisión para que los perfiles de acero resistan adecuadamente las cargas de servicio.

Como se describió anteriormente existen diversos tipos de estructuras de transición, pero este trabajo se centrará específicamente en un tipo de estructura, como lo son dos (2) vigas paralelas como se muestra en la Figura IV.7., las cuales van apoyadas sobre las vigas de concreto existente, y se diseñarán todos los elementos que esta conexión requiere, como lo son:

- Vigas de Acero.
- Pernos para el correcto anclaje entre la torre y la estructura de transición.
- Plancha Base, para garantizar un adecuado agarre entre la estructura de transición y la edificación existente.
- Plancha de Asiento, para permitir un adecuado agarre entre la torre y la estructura de transición.
- Rigidizadores, los cuales serán necesarios para disminuir la torsión y deflexión de la torre.

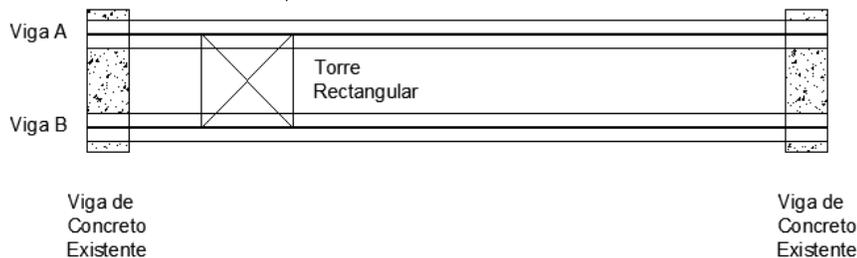


Figura IV.7 Vista en planta de dos vigas paralelas apoyadas sobre las vigas existentes de la edificación.
Fuente: Elaboración Propia en programa AutoCAD.

CAPITULO IV

Para esto se modelará la torre de telecomunicación mediante el programa de diseño estructural SAP 2000, siguiendo la Norma CANTV NT-001:2007 y CANTV NT-002:2007, para poder establecer las cargas de viento en la torre, la carga de viento en los equipos y accesorios, las especificaciones sísmicas y la deflexión máxima de la torre.

IV.2.1 Verificación de la viga de Acero

La Norma Americana AISC 360-10 establece los siguientes parámetros de diseño para las vigas de acero, utilizando el método de LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)

La selección inicial de la viga de acero se realizará mediante la Fórmula F2-1, ya que de esta forma se puede obtener el módulo resistente plástico (Z_x) mínimo que se necesita.

$$Z_{x_{requerido}} = \frac{M_{ux}}{F_y} \quad (1)$$

Se verifica el perfil por pandeo local de las alas y almas, por medio de la Tabla B4.1b, para el caso 10 y 15 respectivamente.

$$\frac{bf}{2tf} < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2)$$

$$\frac{h}{tw} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3)$$

Se verifica el arriostramiento lateral con la Fórmula F2-2, en el caso de que se cumpla la expresión y no sea necesario arriostrar, igualmente en la práctica se suele hacer, ya que estas vigas siempre deberían estar arriostradas en toda su longitud para reducir al mínimo el desplazamiento relativo entre ellas.

$$\phi_b M_t = 0.9 C_b \left[M_{px} - (M_{px} - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \geq M_{ux} \quad (4)$$

CAPITULO IV

Se verifica la resistencia a corte de las vigas con la Fórmula G2-1.

$$\phi V = \phi 0.6 F_y A_w C_v \geq \phi_v V_t \quad (5)$$

Se verifican las solicitaciones simultáneas con la Fórmula H1-1b, como estos perfiles trabajarán como vigas (momento en sus 2 ejes principales) se puede despreciar la fuerza axial, ya que la misma sería muy pequeña y no afectaría los resultados.

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b * M_{tx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b * M_{py}} \right) < 1 \quad (6)$$

Por último se verifica el Estado Límite de Servicio (flecha), este es un parámetro muy importante, ya que las antenas parabólicas deben tener el mínimo movimiento posible para que no se pierda la funcionalidad de las mismas (enlace punto a punto). El cálculo de la flecha se realizará por superposición de efectos, éste no representa el método más exacto para este cálculo, pero da una precisión bastante acorde a lo que se busca y es un método conservador.

$$\Delta = \frac{P a^2 b^2}{3 E I L} \quad (7)$$

Luego de comprobar todos los parámetros exigidos por la norma AISC 360-10, para la viga seleccionada, se calculan los rigidizadores, pernos y plancha necesarias.

IV.2.2 Efecto de las Cargas Concentradas

Estos efectos serán verificados utilizando el Capítulo J, Artículo 10 la norma AISC 360-10.

Se comprobarán todos los parámetros, para verificar la necesidad de colocar rigidizadores en el perfil. Estos parámetros son los siguientes:

- Flexión local del ala cargada, se utiliza la Fórmula J10-1, con $\phi = 0.90$

$$\phi R = 0.90 6.25 F_y t f^2 \quad (8)$$

CAPITULO IV

- Cedencia local del alma, se utiliza la Fórmula J10-3 por ser el caso más desfavorable con $\phi = 1.00$

$$\phi R_t = 1.00 F_{yw} t_w (2.5 d_f + l_b) \quad (9)$$

- Falla local (“*cripling*”) del alma, se emplean las Fórmulas J10-4, J10-5a o J10-5b según sea el caso, con $\phi = 1.00$. En el caso desarrollado en este trabajo se utilizó J10-4

$$\phi R_t = 1.00 \times 0.80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \quad (10)$$

- Desplazamiento lateral del alma por pandeo, se calcula con fórmulas J10-6 o J10-7 según sea el caso, con $\phi = 0.85$. En el ejemplo desarrollado en este trabajo no fue necesario aplicar ninguna de estas fórmulas, debido a que se obtuvo como resultado que este estado límite no aplica para dicho caso de acuerdo con lo establecido en la subsección J10.4.(a).(ii).
- Pandeo por compresión en el alma, se emplea la Fórmula J10-8 con $\phi = 0.90$, si se calcula con la condición más desfavorable se debe minorar un 50% la resistencia.

$$\phi R_t = 0.90 \times 0.5 \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} \quad (11)$$

Cuando la aplicación de los mencionados Artículos resulte en la necesidad de colocar rigidizadores transversales en el alma de la viga, estos deberán cumplir con los requisitos de los Secciones J10.7 y J10-8.

CAPITULO IV

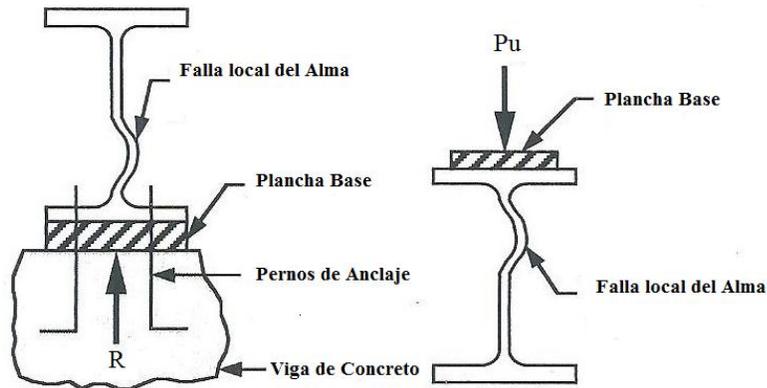


Figura IV.8 Falla del Alma por Carga Puntual

Fuente: Structural Steel Design: LRFD Approach, J.C. Smith. 1996, Pág. 187

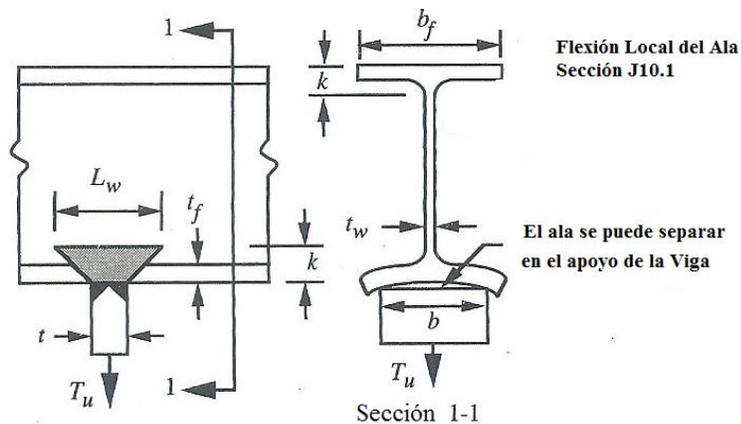


Figura IV.9 Pandeo del Ala por Carga Puntual

Fuente: Structural Steel Design: LRFD Approach, J.C. Smith. 1996, Pág. 187

IV.2.3 Plancha de Asiento y Pernos de Anclaje.

La plancha de asiento y los pernos de anclaje que servirán para unir la estructura de transición y la torre (como se muestra en la Figura IV.10), serán calculados siguiendo lo establecido en la Norma Americana AISC 360-10 “*Specification for Structural Steel Buildings*”, en sus Artículos J3 y J4, los cuales tratan los elementos de conexión, pero tomando en consideración que tanto los pernos como las planchas son elementos que

CAPITULO IV

trabajarán a tracción o compresión. El espesor de la plancha de asiento será calculado evitando el efecto de apalancamiento o “*prying action*”⁴ descrito en el Manual de la AISC, ya que en torres de telecomunicación la fuerza axial es considerable, por ende la plancha de asiento se puede ver afectada por este fenómeno.

- Para evitar el efecto de apalancamiento descrito en la Figura 9.4(a) del Manual de la AISC con LRFD:

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4.44 T b'}{p Fu}} \quad (12)$$

- Resistencia a Tracción y Corte de pernos y piezas Roscadas, se calcula utilizando la Fórmula J3-1 con $\phi = 0.75$:

$$\phi Rt = 0.75 Fy Ab \quad (13)$$

Una vez comprobados y calculados los pernos que se requieren, se procede a estimar y luego verificar la plancha que servirá de conexión.

- Elementos en Tensión:
 - o Cedencia en el área total, se calculará mediante la Fórmula J4-1, utilizando $\phi = 0.90$

$$\phi Nt = 0.90 Fy Ag \quad (14)$$

- o Rotura en el área efectiva, se calculará por medio de la Fórmula J4-2, utilizando $\phi = 0.75$

$$\phi Nt = 0.75 Fu Ae \quad (15)$$

⁴ El apalancamiento o “*prying action*” es un fenómeno físico debido a la excentricidad entre la aplicación de la fuerza externa y la línea de resistencia de los pernos. La acción de apalancamiento aumenta las fuerzas que actúan sobre los pernos y por tanto deben ser consideradas para un diseño correcto de las conexiones.

CAPITULO IV

- Bloque de corte, se calcula utilizando la Fórmula J4-5, con $\phi = 0.75$:

$$\phi R_n = 0.75 (0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}) \quad (16)$$

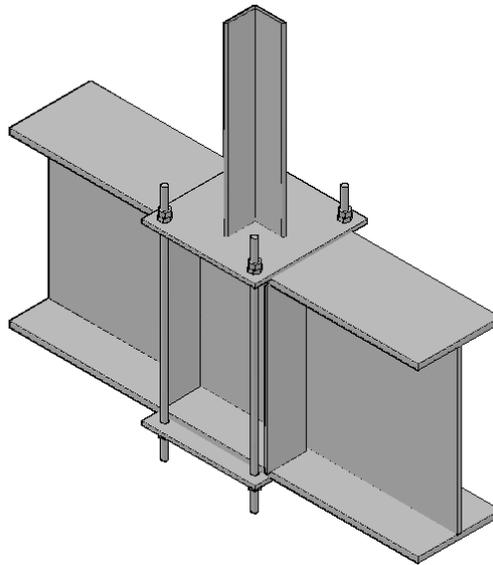


Figura IV.10 Plano conjunto, viga, pernos y plancha de unión.

Fuente: Elaboración Propia en programa AutoCAD.

IV.2.4 Plancha Base para unión de Estructura de Transición y Edificación

La plancha base debe ser calculada con parámetros y fórmulas que se encuentran en el Manual de la Norma AISC 360-10. A continuación se describe el proceso a seguir para su diseño:

- Verificación por cedencia local del alma, se emplea la Fórmula 9-45a del manual de la AISC.

$$l_{b_{req}} = \frac{R_u - \phi R_1}{\phi R_2} \geq d_f \quad (17)$$

CAPITULO IV

- Verificación por falla local (“*Crippling*”) del alma, se debe comprobar si lb/d es mayor a 0.2 y se utiliza la Fórmula 9-48a.

$$lb_{req} = \frac{Ru - \phi R5}{\phi R6} < \text{Ancho de Viga} \quad (18)$$

- Verificación de la viga de concreto, se calcula con la Fórmula J8-1, de la Norma AISC 360-10, utilizando $\phi = 0.65$

$$\phi Pp = 0.65 \times 0.85 f_c A \geq \text{Reacción} \quad (19)$$

- Cálculo del área de plancha requerida, se obtiene utilizando la Fórmula J8-1 de la Norma AISC 360-10, con $\phi=0.65$

$$A = \frac{R}{\phi 0.85 f_c} \quad (20)$$

- Espesor de la plancha, se calcula empleando Fórmula 14-1 del Manual de la Norma AISC

$$n = \frac{B}{2} - df1 \quad (21)$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{2 R n^2}{\phi A Fy}} \quad (22)$$

*CAPITULO V***CAPITULO V. DESARROLLO****V.1 Caso de estudio hipotético**

Para el desarrollo de la investigación, se planteó un caso de estudio hipotético con las siguientes características:

Se propone una torre de telecomunicaciones de veinte (20) metros de altura, instalada sobre un edificio de concreto reforzado de veintiún (21) metros de alto, siete (7) niveles y tres (3) metros de altura entre pisos, dicho edificio se encuentra ubicado en la ciudad de Caracas, Municipio Libertador, el material en el cual se encuentra fundada la edificación es un suelo duro o denso, ésta es una estructura tipo pórtico capaz de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante sus vigas o columnas y cuyos ejes de columnas se mantienen hasta la fundación, de acuerdo a su uso la edificación pertenece al grupo B1.

La geometría de la torre no representa el objeto principal de estudio de este trabajo, por lo cual se toma de la ingeniería estándar de una empresa que instala torres de telecomunicaciones, la misma es una celosía autoportante de veinte (20) metros de altura, con conexiones empernadas, de sección cuadrada y variable, con separación entre montantes de la base de 0.66 m. diseñada con perfiles tipo L en toda su longitud y a la altura de 18.88 m. medidos desde la base de la torre posee una antena parabólica con protector cilíndrico (SHROUD). Por otra parte se tiene que la torre estudiada es una estructura que, debido a su altura, uso o localización, en caso de falla puedan dar lugar a pérdidas humanas o económicas, pero cuyos servicios de comunicación pueden ser provistos por otros medios por tener una única antena parabólica.

La misma está apoyada sobre un par de perfiles IPE de 5 m. de longitud cada uno, y estos a su vez estarán apoyados sobre vigas de concreto existentes de 30 x 40 cm. las cuales se supone que serán capaces de resistir las nuevas cargas a las cuales estarán expuestas. El centro

CAPITULO V

de la torre está ubicado aproximadamente a un (1) un metro del apoyo o borde de la estructura de transición.

Se debe dibujar la torre y verificar sus perfiles en el programa de cálculo estructural SAP 2000, para luego calcular las vigas que servirán como estructuras de transición manualmente y por medio de hojas de cálculos, se deben comparar resultados calculados con el programa SAP 2000.

Se deberán seguir los procedimientos de cálculos por fuerzas de viento y sismo que están en las normas CANTV NT-001:2007, CANTV NT-002:2007 y COVENIN 1756-1:2001. Para la comprobación de los perfiles de la estructura de transición, pernos, planchas de asiento y planchas base, se deberá seguir los procedimientos de cálculo estipulados en el capítulo anterior de este trabajo, los cuales fueron planteados utilizando la Norma Americana AISC 360-10.

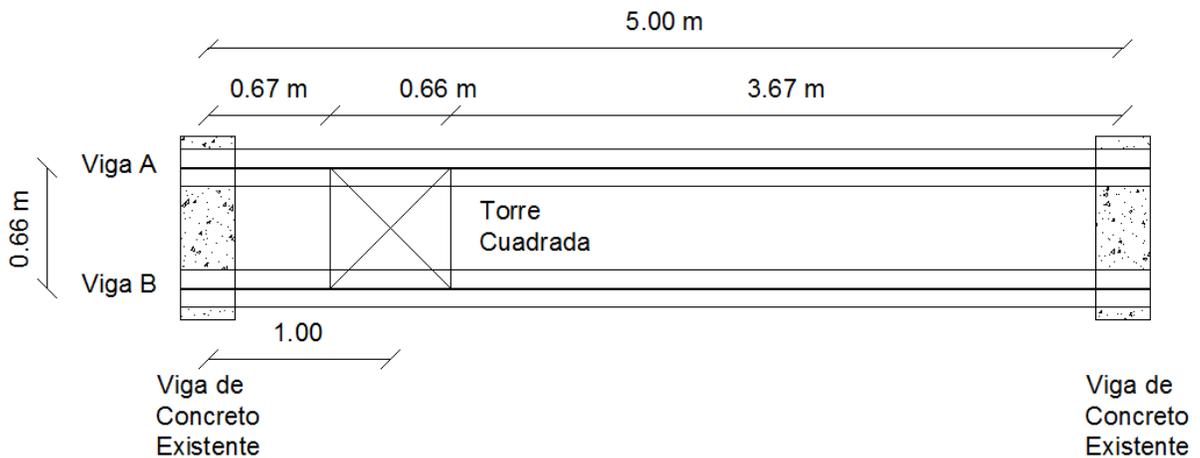


Figura V.1 Plano de planta de ejemplo propuesto.
Fuente: Elaboración Propia en programa AutoCAD.

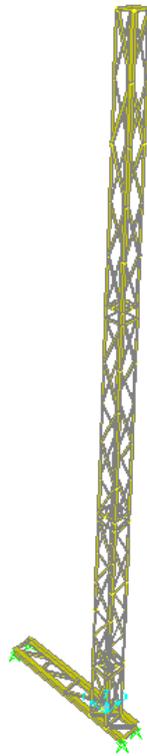
CAPITULO V

Figura V.2 Modelo en 3D de la torre propuesta
Fuente: Elaboración Propia en programa SAP 2000-14

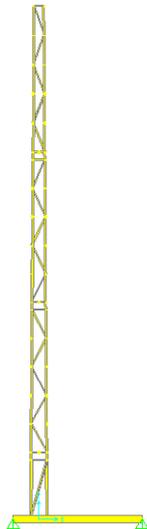


Figura V.3 Vista de Perfil de torre Propuesta.
Fuente: Elaboración Propia en programa SAP 2000-14

CAPITULO V

V.2 Cargas para el análisis estructural

V.2.1.1 Acción del Viento

Las fuerzas producidas por el viento sobre la torre de telecomunicaciones, se calcularán realizando el diagrama de presiones de acuerdo con lo establecido en la Norma CANTV NT-001:2007 y esta carga será asignada por medio de áreas tributarias a los nodos de las montantes de la torre como se muestra en la Tabla V.1 y más detalladamente en un Anexo contenido en el CD que se presenta junto a este tomo. Para el caso de las antenas y accesorios la carga de viento se analizará también como se explica en la Norma, esta carga normalmente es asignada a dos (2) nodos consecutivos, ya que suelen estar en medio del tramo, para este ejemplo se le asignó toda la carga a un (1) nodo, ya que la misma se encuentra colocada en un nodo específicamente.

Tabla V.1 Fuerza de Viento sobre Nodos de las Montantes

z (m)	qz (kgf/m ²)	qz*Gh (kgf/m ²)	Af*Df (m ²)	Cf(qz*Gh) (kgf/m ²)	Fst (Kgf)	Montante Principal	Montantes Secundarios
						Fst Viento a 45° (kgf)	Fst Viento a 45° (kgf)
21.00	40.00	34.00	0.10	77.65	8.04	13.65	6.82
21.00	40.00	34.00	0.16	77.65	12.71	21.57	10.78
23.31	40.00	34.00	0.17	77.65	13.52	22.94	11.47
23.31	40.00	34.00	0.11	77.65	8.85	15.02	7.51
23.60	40.00	34.00	0.10	77.65	7.83	13.29	6.65
23.60	40.00	34.00	0.07	77.65	5.35	9.08	4.54
24.72	40.00	34.00	0.08	77.65	6.49	11.02	5.51
24.72	40.00	34.00	0.15	77.65	11.44	19.41	9.71
25.83	40.00	34.00	0.15	77.65	11.41	19.37	9.68
25.83	40.00	34.00	0.08	77.65	6.49	11.02	5.51
26.95	40.00	34.00	0.08	77.65	6.49	11.02	5.51
26.95	40.00	34.00	0.15	77.65	11.39	19.32	9.66
28.06	40.00	34.00	0.15	77.65	11.36	19.28	9.64
28.06	40.00	34.00	0.08	77.65	6.49	11.02	5.51

CAPITULO V

29.17	40.00	34.00	0.07	77.65	5.21	8.84	4.42
29.17	40.00	34.00	0.10	77.65	7.64	12.96	6.48
29.46	40.00	34.00	0.07	77.65	5.19	8.81	4.41
29.46	40.00	34.00	0.10	77.65	7.60	12.90	6.45
30.58	40.00	34.00	0.15	77.65	11.29	19.16	9.58
30.58	40.00	34.00	0.08	77.65	6.48	11.00	5.50
31.69	40.00	34.00	0.08	77.65	6.48	11.00	5.50
31.69	40.00	34.00	0.15	77.65	11.27	19.12	9.56
32.80	40.00	34.00	0.14	77.65	11.25	19.09	9.54
32.80	40.00	34.00	0.08	77.65	6.48	11.00	5.50
33.92	40.00	34.00	0.08	77.65	6.48	11.00	5.50
33.92	40.00	34.00	0.14	77.65	11.23	19.06	9.53
35.03	40.00	34.00	0.10	77.65	7.44	12.62	6.31
35.03	40.00	34.00	0.07	77.65	5.07	8.60	4.30
35.32	40.00	34.00	0.10	77.65	7.52	12.77	6.38
35.32	40.00	34.00	0.07	77.65	5.13	8.70	4.35
36.46	40.00	34.00	0.09	77.65	6.65	11.29	5.64
36.46	40.00	34.00	0.15	77.65	11.43	9.40	9.70
37.60	40.29	34.24	0.15	78.21	11.49	19.50	9.75
37.60	40.29	34.24	0.09	78.21	6.70	11.37	5.68
38.75	41.06	34.90	0.09	79.71	6.83	11.59	5.79
38.75	41.06	34.90	0.15	79.71	11.69	19.84	9.92
39.89	41.80	35.53	0.15	81.14	11.88	20.16	10.08
39.89	41.80	35.53	0.09	81.14	6.95	11.79	5.90
41.03	42.50	36.13	0.05	82.51	4.36	7.40	3.70
41.03	42.50	36.13	0.08	82.51	6.86	11.64	5.82

Fuente: Elaboración Propia en programa Excel

V.2.1.2 Carga por Sismo

El sismo fue calculado mediante la utilización del espectro de piso, empleando las Normas COVENIN 1756-1:2001, CANTV NT-001:2007 y CANTV NT-002:2007, la hoja de cálculo que fue utilizada para calcular el espectro de respuesta de la edificación y espectro de piso se encuentra en un Anexo contenido en el CD que se presenta junto a este tomo.

CAPITULO V

Tabla V.2 Aceleraciones del Espectro de Respuesta de la Edificación y Espectro de Piso de la Torre

T	Ad,s (R=1)	Ad,s	$\tau = T_a/T_s$	Ad,t	Límite Ad,t	Ad,p	Ad,a
0.00	0.311	0.311	0.000	-0.11302	0.22604	1.639	1.639
0.10	0.594	0.228	0.146	-0.06458	0.22604	1.639	1.657
To = 0.18	0.807	0.186	0.262	-0.02583	0.22604	1.639	1.670
0.30	0.807	0.152	0.437	0.03229	0.22604	1.639	1.685
0.40	0.807	0.135	0.583	0.08073	0.22604	1.639	1.694
0.50	0.807	0.135	0.728	0.12917	0.22604	1.639	1.702
Tp+ = 0.58	0.807	0.135	0.845	0.16792	0.22604	1.639	1.707
T* = 0.70	0.807	0.135	1.019	0.22604	0.22604	1.639	1.707
Tp* = 0.79	0.715	0.119	1.150	0.26964	0.26964	1.682	1.723
0.90	0.628	0.105	1.311	0.32292	0.32292	1.736	0.885
1.00	0.565	0.094	1.456	0.37136	0.37136	1.784	0.594
1.10	0.514	0.086	1.602	0.41980	0.41980	1.833	0.440
1.20	0.471	0.078	1.748	0.46823	0.46823	1.881	0.346
1.30	0.435	0.072	1.893	0.51667	0.51667	1.929	0.283
1.40	0.404	0.067	2.039	0.56511	0.56511	1.978	0.238
1.50	0.377	0.063	2.184	0.61355	0.56511	1.978	0.199
1.60	0.353	0.059	2.330	0.66199	0.56511	1.978	0.170
1.70	0.332	0.055	2.476	0.71042	0.56511	1.978	0.147
1.80	0.314	0.052	2.621	0.75886	0.56511	1.978	0.128

Fuente: Elaboración Propia en programa Excel

V.3 Cálculos y Resultados

En este subcapítulo se presentan de forma resumida y comparativa los resultados más importantes obtenidos luego del análisis realizado mediante la utilización del programa de cálculo estructural SAP 2000 y siguiendo los procedimientos establecidos en las Normas CANTV NT-001:2007, CANTV NT-002:2007, COVENIN 1756-1:2001 y AISC 360-10.

La torre analizada cumple con los requisitos operacionales de desplazamiento y torsión exigidos por el cliente según el Artículo 3.4 de CANTV NT-001:2007

CAPITULO V

V.3.1 Reacciones en los apoyos de la torre

Las reacciones de la torre de telecomunicación obtenidas por medio del programa de cálculo estructural SAP 2000 se muestran a continuación:

Tabla V.3 Reacciones de la Torre

Reacciones máximas mayoradas de la Torre, según casos de cargas (Calculadas con el Programa SAP 2000)	
Compresión:	13312 kgf
Tracción:	12490 kgf
Corte:	350 kgf

Fuente: Elaboración Propia en programa SAP 2000

V.3.2 Selección de perfil para Estructura de Transición

Para efectuar los cálculos necesarios en la verificación de los perfiles que serán utilizados como elementos de transición entre una torre de telecomunicaciones y el edificio propuesto, se creó un programa en Excel, que sirve de herramienta en el cálculo, dicho programa sirve para calcular los valores de diseño según la norma AISC 360-10, como lo son: M_{px} , M_{rx} , L_p , L_r , M_{tx} , M_{py} , V_t y todos los valores necesarios para el cálculo de fuerzas concentradas (R1 hasta R6). Este archivo en Excel se presenta en formato digital en el CD correspondiente a este Trabajo Especial de Grado, y en el Anexo C se podrá ver el ejemplo propuesto calculado mediante dicho programa.

Para poder tener un punto de comparación válido se han calculado las vigas de transición por medio del programa Estructural SAP 2000 y la hoja de Excel programada y validada con distintos ejemplo realizados manualmente.

CAPITULO V

Tabla V.4 Vigas de Estructura de Transición IPE en Acero ASTM-A36

Herramienta utilizada	Perfil
SAP 2000	IPE 300
Excel	IPE 360

Fuente: Elaboración Propia

Tabla V.5 Verificación de Perfil Seleccionado.

Criterio	Articulado	Resultado	Límite	¿Cumple?
Selección Viga	F2-1	$Z_x = 774.2 \text{ cm}^3$	$Z_x = 1020 \text{ cm}^3$	SI
Pandeo Local en las Alas	B4.b1, Caso 10	6.69	10.95	SI
Pandeo local del Alma	B4.b1, Caso 15	37.30	108.33	SI
Arriostramiento Lateral	F2-2	No Aplica este Límite	-	SI
Corte	G2-1	43720 kgf	21273 kgf	SI
Solicitaciones Simultaneas	H1.1b	0.86	1	SI

Fuente: Elaboración Propia

Tabla V.6 Estado Límite de Servicio

	Flecha (cm)	Límite (cm)
SAP 2000	0.77	1.39
Excel	1.06	1.39

Fuente: Elaboración Propia

V.3.3 Deriva

A continuación se comparan los resultados obtenidos de tres (3) maneras distintas, todas calculadas utilizando el programa de cálculo estructural SAP 2000:

CAPITULO V

Tabla V.7 Deriva en nodos superiores

	Nodo Superior (ni+1) (cm)	Nodo Inferior (Ni) (cm)	$\delta = \frac{N_{i+1} - N_i}{L}$
Sobre Estructura	29.15	26.90	0.0200
Articulada	10.80	9.80	0.0088
Empotrada	10.80	9.70	0.0096

Fuente: Elaboración Propia

Como es de esperarse la deriva en el caso de la torre sobre la estructura de transición es mucho mayor que para cualquiera de los otros dos casos.

Los demás resultados fueron calculados como se mostró en el Capítulo IV de este trabajo, empleando una hoja de Excel programada y siguiendo los parámetros establecidos en la Norma AISC 360-10.

V.3.4 Efecto de las Cargas Concentradas

Debido a los efectos de las cargas concentradas se deberá verificar los criterios de resistencia del perfil seleccionado IPE 360, que es el perfil obtenido mediante el cálculo en Excel, para poder analizar si se deben colocar o no rigidizadores transversales.

Tabla V.8 Cálculo de rigidizadores

Criterio	Artículo	Resultado	Límite	¿Rigidizar?
Flexión local del ala cargada	J10.1	25504 kgf	13312 kgf	No
Por cedencia local del alma en el tramo	J10.2	15129 kgf	13312 kgf	No
Por falla local del alma (“<i>cripling</i>”) en el Tramo	J10.3	133708 kgf	13312 kgf	No
Desplazamiento Lateral del alma por pandeo	J10.4	No Aplica	-	No
Pandeo por Compresión con el Alma	J10.5	11200 kgf	13312 kgf	Si

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V

El perfil no cumple con todos los criterios de verificación y por Norma necesita ser rigidizado, pero para efectos de una torre de telecomunicación y para que la misma no sufra vibraciones y torsión considerables, siempre se le debe colocar rigidizadores, y las longitudes de los mismos serán calculadas mediante la Sección J10.8 de la Norma AISC 360-10. A continuación el cálculo de los rigidizadores:

- Área de aplastamiento requerida:

$$A_{pb} \geq \frac{R_u}{2\phi F_y} = \frac{13312}{2 \times 0.75 \times 2530} = 3.51 \text{ cm}^2$$

- Anchura del rigidizador:

$$0.5 \times (bf - tw) = 0.5 \times (170 - 8) = 81 \text{ mm} = 8.1 \text{ cm}$$

- Espesor del rigidizador:

$$t = \frac{0.5 \times A_{pb}}{(b - df)1} = \frac{0.5 \times 3.51}{\left(\frac{(17 - 0.8)}{2} - 2.2\right)} = 0.29 \text{ cm} = 3 \text{ mm}$$

El espesor de los rigidizadores es muy reducido, ya que el perfil no requería rigidizadores, sin embargo se colocarán cuatro (4) rigidizadores por montante que serán colocados justo debajo del borde de las planchas de asiento, el espesor de cada rigidizador será un espesor comercial no menor a 1 cm.

V.3.5 Pernos de Anclaje y Plancha de Asiento

De acuerdo con los cálculos realizados mediante la herramienta Excel (archivo que se presenta en formato digital en el CD correspondiente a este Trabajo Especial de Grado), contenidos en el Anexo C de este trabajo, y siguiendo los parámetros establecidos en la Norma AISC 360-10, se utilizarán cuatro (4) pernos de 13 mm. (1/2"), en acero ASTM A-325 N y una plancha de asiento de 24.5 cm x 24.5 cm x 9 mm en acero ASTM A-36.

CAPITULO V

El espesor de la plancha de asiento fue calculado por apalancamiento (“*prying action*”) y posteriormente fue verificado por los parámetros que se muestran a continuación:

Tabla V.9 Cálculo de Pernos y Plancha de Asiento

Criterio	Artículo	Resultado	Límite	¿Verifica?
Tracción Pura en los Pernos	J3-1	14480 kgf.	12490 kgf.	SI
Cedencia en el Área Total	J4-1	50208 kgf.	12490 kgf.	SI
Rotura en el Área Efectiva	J4-2	57344 kgf.	12490 kgf.	SI
Bloque de Corte	J4-5	60588 kgf.	12490 kgf.	SI

Fuente: Elaboración Propia

V.3.6 Plancha Base

Se calcula la plancha base que servirá para unir la estructura de transición con el edificio de concreto existente o con el perfil que se coloca en la mayoría de los casos para dar altura a la estructura de transición, (aproximadamente 60 cm. de altura) y permitir las labores de mantenimiento de la losa de techo como lo sería la impermeabilización. La misma se verificará utilizando las fórmulas presentes en el manual del cálculo de la AISC.

La reacción de la estructura de transición sobre la viga de concreto es R_u : 21275 kgf.

Tabla V.10 Verificación de la Plancha Base

Criterio	Artículo	Resultado	Límite	¿Verifica?
Cedencia local del alma	Tabla 9-4, Fórm. 9-45a	2.76 cm.	30 cm.	SI
Falla local (“ <i>crippling</i> ”) del Alma	Fórmula 9-48a	5.51 cm.	30 cm.	SI
Viga de Concreto	Fórmula J8-1	70444 kgf.	21275 kgf.	SI

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V

El cálculo de plancha requerida es el siguiente:

- Área de la plancha

Utilizando la Fórmula J8-1 de la norma AISC 360-10, con $\phi=0.65$

$$A = \frac{R}{\phi 0.85 f_c} = \frac{16173 \text{ kgf}}{0.65 \times 0.85 \times 250 \text{ kgf/cm}^2} = 117.1 \text{ cm}^2$$

Para una viga de 30 cm. de anchura, se utilizará igualmente una plancha de 30 cm. de anchura, se tiene que:

$$B_{req} = \frac{A}{Ancho} = \frac{117.1 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 4 \text{ cm}$$

Se utilizará una plancha de dimensiones 30 x 20 cm.

- Espesor de la plancha

$$n = \frac{B}{2} - df1 = \frac{20 \text{ cm}}{2} - 2.6 \text{ cm} = 12.6 \text{ cm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{2 R n^2}{\phi A Fy}} = \sqrt{\frac{2 \times 16173 \text{ kgf} \times (12.6 \text{ cm})^2}{0.90 \times (30 \text{ cm}) \times (20 \text{ cm}) \times \frac{2530 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}}} = 1.93 \approx 2 \text{ cm}$$

Como plancha base se utilizará una plancha de 30 x 20 x 2 cm. en acero ASTM A-36.

V.4 Efecto del viento

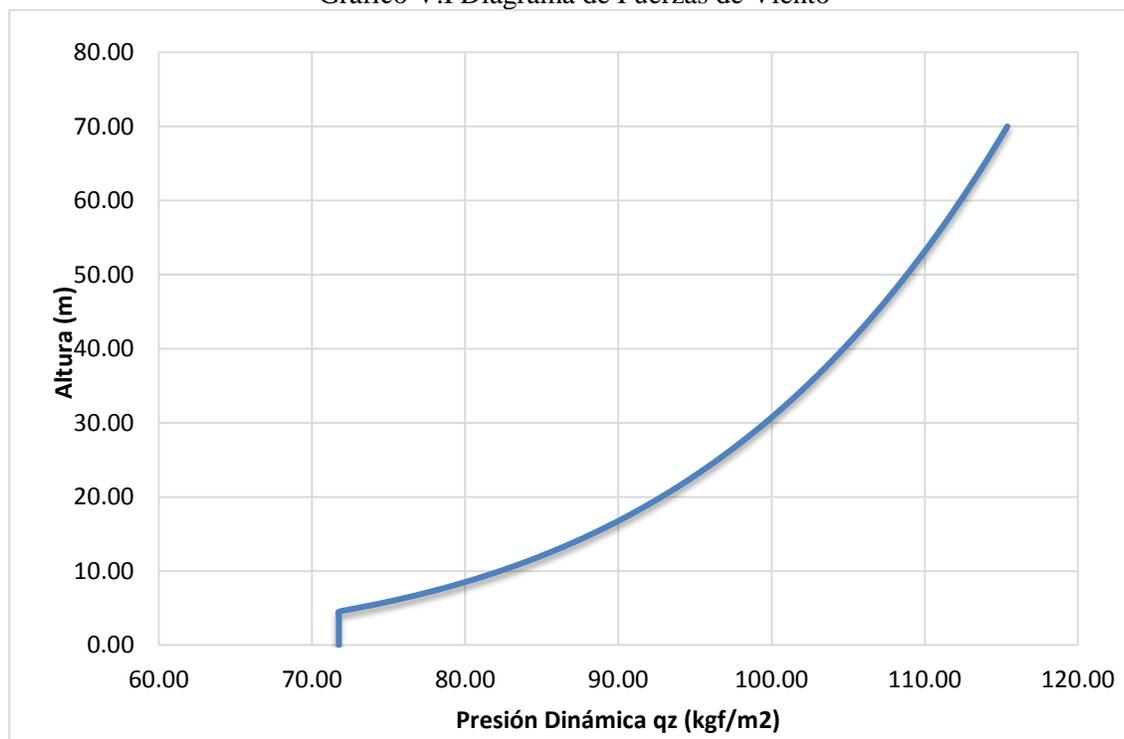
El caso de las torres sobre edificaciones no se puede calcular como un caso de torre sobre suelo diseñando luego su estructura de transición para colocarla en la azotea de una edificación, ya que como se puede observar en el Gráfico V.1, suele ser un caso muy

CAPITULO V

desfavorable y en algunos casos puede fallar, producir grandes daños o simplemente no funcionar para las condiciones de servicio normales.

En este trabajo especial de grado se ha realizado otro caso hipotético, calculando el diagrama de fuerzas de viento, para poder comparar las diferencias que se obtienen en el caso de realizarlo sobre el suelo y sobre una estructura que proporciona altura extra.

Gráfico V.I Diagrama de Fuerzas de Viento



Fuente: Elaboración Propia utilizando la herramienta Excel

Como se puede observar, existen grandes diferencias, ya que a pesar de que prácticamente en los primeros cinco (5) metros la curva es constante, luego se incrementa de manera parabólica, lo que da presiones de viento mucho más elevadas a mayores alturas (como las que proporciona un edificio). Por ende siempre se debe tomar en cuenta que la torre esta sobre una edificación y que la misma proporcionara altura extra.

CAPITULO V

En el ejemplo desarrollado se obtuvo las cargas de viento de acuerdo con las especificaciones de la Norma CANTV NT-001:2007, las cuales se muestran a continuación:

Tabla V.11 Fuerzas de Viento

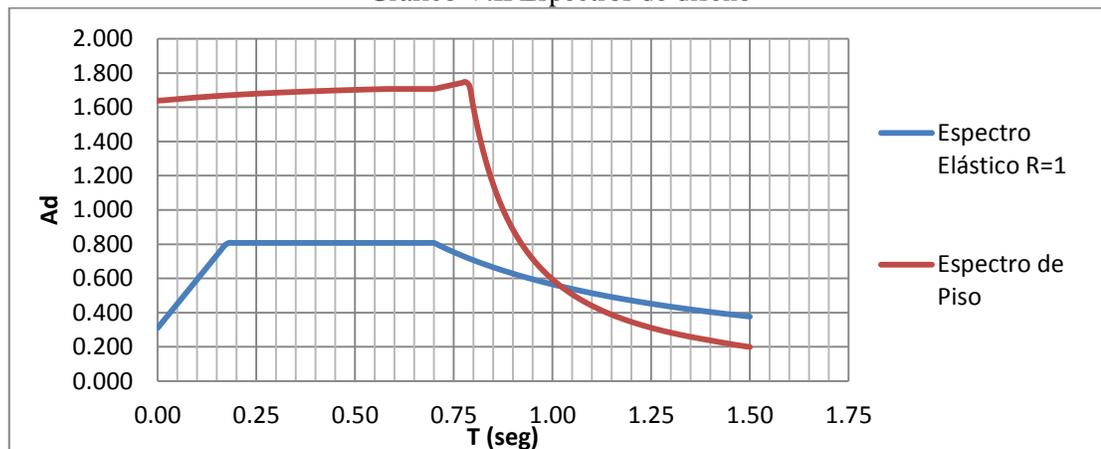
	Cargas sin Mayorar (kgf)	Cargas Mayoradas (kgf)
Viento a 0°	784	1255
Viento a 45°	675	1080
Viento a 90°	659	1055

Fuente: Elaboración Propia utilizando la herramienta Excel

V.5 Efecto del Sismo

Para el caso del sismo, ocurre igual que con el viento, al colocar la torre sobre una edificación este se puede ver amplificado o no. Como se observa en el siguiente gráfico, el espectro de piso para analizar la torre de telecomunicación, es superior al espectro de respuesta inelástico de la edificación que la soporta, pero las masas de las torres de telecomunicación suelen ser pequeñas, por ello muchas personas desprecian el efecto sísmico.

Gráfico V.II Espectros de diseño



Fuente: Elaboración Propia en programa Excel

CAPITULO V

Si el efecto del sismo es considerado, como debiera ser en la práctica común, se debe calcular las fuerzas que el mismo genera sobre el apoyo, esto se realiza calculando la fuerza cortante basal por medio de fórmulas empíricas que hasta ahora han funcionado adecuadamente, pero como se puede observar en la Tabla V.12 existen diversas maneras de calcular el período fundamental de la torre para el primer modo de vibración.

En el presente Trabajo Especial de Grado se evaluaron cuatro (4) casos diferentes para obtener el período fundamental de la torre, como lo son: utilizando el programa SAP 2000 evaluando la torre con la estructura de transición, utilizando el programa SAP 2000 en el caso de la torre sin estructura de transición empotrada y articulada, empleando la fórmula empírica del Anexo C de la Norma CANTV NT-001:2007 y por medio de ecuaciones desarrolladas en un trabajo desarrollado por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

Tabla V.12 Corte Basal

Método	T1 (seg)	Ad,a	Vs min (kgf)	Vs (kgf)	Vs seleccionado (kgf)
SAP 2000 sin estructura de transición (empotrado y articulado)	0.614	1.707	227	2735	2735
SAP 2000 con estructura de transición	1.100	0.440	134	705	705
Anexo C de la Norma CANTV 2007	0.750	1.732	186	2775	2775
Investigación Mexicana	0.223	1.676	624	2684	2684

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar el valor del período fundamental de la torre (T1) más alejado de los valores promedio obtenidos, es el de la torre modelada en SAP 2000 que posee estructura de transición, ya que esta estructura aportará mayor movilidad a la torre y por lo tanto el período fundamental será mayor, lo que demuestra que las fórmulas empíricas que se han desarrollado no contemplan los casos de torres de telecomunicación sobre azoteas de

CAPITULO V

edificaciones con estructura de transición. La investigación mexicana no especifica si las torres de telecomunicación evaluadas se encuentran sobre terreno o sobre alguna edificación, lo que nos hace deducir que se trata de torres sobre terreno, el valor de T1 obtenido utilizando las fórmulas propuestas por ellos, fue muy distinto e inferior al promedio, arrojando un corte basal mínimo más elevado y un corte basal seleccionado alrededor de los resultados obtenidos.

Los valores arrojados por el programa SAP 2000 para la torre excitada por el espectro de piso, pero directamente apoyadas ya sea articulada o empotrada sin poseer estructura de transición, fueron muy similares a los obtenidos con la ecuación del Anexo C de la Norma CANTV 2007. Gracias a esto se puede validar que esta ecuación fue desarrollada sólo para el caso más simple, torre sobre terreno o edificación sin la presencia del elemento de transición.

El valor que debe utilizarse es el obtenido modelando la torre de telecomunicación en el programa SAP 2000 en conjunto con la estructura de transición, sin embargo empleando la fórmula del Anexo C de la Norma CANTV 2007 y utilizando el modelo de SAP 2000 sin estructura de transición, se logran obtener valores similares y superiores al usar la fórmula que serían conservadores y estarían del lado de la seguridad.

Por otra parte, una vez obtenidos los efectos del viento y los del sismo, es necesario determinar cuál de ambos es el más desfavorable, ya que de acuerdo con el Artículo 8.4 de la Norma CANTV NT-001:2007, se establece que puede omitirse el proyecto sismorresistente, cuando el cortante sísmico obtenido por métodos estáticos o dinámicos, sea inferior al 50% del correspondiente cortante mayorado debido a la acción del viento.

El menor cortante mayorado debido al viento que se obtuvo del análisis del caso estudiado fue de 1504 kgf., el 50% de este valor es 752 kgf., dicho valor es mayor a los cortantes sísmicos calculados por todos los métodos descritos en la sección anterior de este trabajo, por lo tanto en este caso se puede omitir el proyecto sismoresistente.

CAPITULO VI

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 CONCLUSIONES

La finalidad del presente Trabajo Especial de Grado es la de documentar diferentes tipos de soluciones que se presentan en la instalación de las torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones. Como se puede observar en este documento no fue posible estandarizar las estructuras de transición, ya que todos los edificios presentan configuraciones estructurales distintas y por ende la necesidad de construir diferentes soluciones adaptadas a las necesidades del sitio es muy importante, sin embargo existen soluciones comúnmente empleadas en la mayoría de los casos, por lo que se pueden estandarizar algunos aspectos fundamentales para el proyecto (análisis, diseño y detallado) de las mismas.

Se puede estandarizar los requisitos mínimos que debe cumplir la estructura de apoyo o transición a ser utilizada para la colocación de las torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones.

1. La distancia mínima entre la estructura de apoyo y el piso de la azotea debe ser tal, que permita impermeabilizar el techo luego de la construcción de la torre, para evitar generar afectaciones considerables en la losa cuando se esté instalando la torre o en caso de que la edificación requiera una impermeabilización futura a petición de los ocupantes de la edificación. Esta distancia debe ser de al menos 60 cm., para que una persona pueda pasar cómodamente a realizar trabajos de impermeabilización.
2. La estructura de transición debe estar apoyada sobre miembros confiables como vigas y columnas, no sobre losas para poder tener un efecto óptimo de transmisión de las solicitaciones a la edificación.
3. Para el modelado estructural de la torre y su estructura de transición se pueden utilizar diferentes programas existentes en el mercado, pero teniendo en consideración ciertas

CAPITULO VI

restricciones, ya que por ejemplo, el uso del software para cálculo estructural SAP 2000 se debe hacer de manera especializada y en conocimiento de funcionamiento del programa para poder tener un correcto modelado de la torre, de lo contrario se pueden obtener resultados incoherentes. También existe el programa Tower, que es un programa especializado para torres de telecomunicación.

4. La estructura de transición debe modelarse considerando apoyo simple y no empotramiento en la base de la estructura de transición. Debido a la desinformación y la práctica indebida de ingeniería en algunos edificios no se presentan los planos de construcción y es muy difícil saber si los aceros de la losa, o nodo, están en el sitio indicado, por lo tanto no es seguro que las perforaciones queden exactamente en el lugar seleccionado. Es más seguro realizar el análisis de esta manera, ya que será más conservador desde el punto de vista de cálculos, porque la estructura flexaría más y no hay transmisión de momentos al apoyo.
5. Se deberá calcular la estructura de transición conjuntamente con la torre. Si las mismas se modelan por separado no se toman en consideración las deformaciones que ocurren en la estructura de transición y esto puede llevar a resultados errados en la torre. Adicionalmente pueden excederse los valores máximos de deflexión y torsión de los equipos que están instalados.
6. Las estructuras de apoyos nunca son una viga sencilla, siempre poseen más de un miembro, por ello se debería tener en cuenta que todos estos componentes estén debidamente arriostrados entre sí, para evitar movimientos relativos entre los montantes de la torre.
7. Se generó un material útil a las Escuelas de Ingeniería Civil e Ingeniería de Telecomunicaciones, porque detectamos en entrevistas realizadas a diferentes profesionales en el campo de las telecomunicaciones que los mismos no manejaban aspectos importantes que debería ser indispensables en su haber, lo cual dificultó la obtención de la información con respecto a dicha ingeniería.

CAPITULO VI

8. Se planteó una metodología para el análisis y el diseño que cumple con la normativa nacional e internacional, que puede servir de guía para el cálculo de una estructura de transición similar a la que se presenta en este trabajo. Por limitaciones de tiempo fuera de lo inicialmente acordado para la realización del Trabajo Especial de Grado, no fue posible desarrollar otras estructuras de transición.
9. Es importante dejar constancia que los responsables del proyecto y fabricación de las torres de telecomunicación muy pocas veces toman en consideración la evaluación del corte basal para la determinación de la necesidad o no de realizar el proyecto sismorresistente. Posiblemente esto se debe a lo complicado que resulta obtener la información necesaria de la edificación en la cual se pretende instalar la torre de telecomunicación. Es indispensable evaluar cuando es necesario realizar el proyecto sismorresistente.

CAPITULO VI

VI.2 RECOMENDACIONES

Los resultados del presente Trabajo Especial de Grado estuvieron orientados a los tipos de estructuras de transición que se pueden encontrar en diferentes edificaciones, con especial detalle en la propuesta realizada: dos (2) vigas paralelas apoyadas sobre estructura de concreto existente. Algunas de las recomendaciones que han surgido de la realización del presente Trabajo son las siguientes:

1. Dar continuidad a este Trabajo Especial de Grado, para estudiar con detalle otro tipo de estructuras de transición, puesto que las mismas no se pueden estandarizar totalmente, debido a que su proyecto depende de muchas variables.
2. La celebración de eventos nacionales, donde las personas responsables de diseñar, detallar y construir las torres y estructuras de transición expongan sus obras y problemas para converger una metodología de trabajo. Durante la realización de este Trabajo Especial de Grado, se pudieron apreciar que los encargados de estos aspectos tienen sus propias metodologías de diseño.
3. Se recomienda una actualización de las normas nacionales COVENIN 1618:1998 y CANTV 2007 con las normas AISC 360-10 y TIA 222-G en sus últimos suplementos.
4. En artículo publicado en el *Engineering Journal* 4Q AISC 2014 se calcula con un nuevo método la plancha base, pero los resultados son alrededor de un 50% menos de espesor. Se recomienda optar por un espesor promedio.
5. La Sección 7.8.4 de la Norma CANTV NT-001:2007 “*Efectos de Protección*” no es suficientemente clara como para no permitir dudas de interpretaciones.
6. La Norma CANTV debería proponer una metodología común para el proyecto, el detallado y la construcción de las estructuras de transición de las torres de telecomunicación. No se encontraron normativas en relación al tema de las estructuras de transición.

CAPITULO VI

7. Darle continuidad a este Trabajo Especial de Grado para evaluar qué grado de empotramiento es el más conveniente para las torres de telecomunicación tomando en cuenta la práctica actual. Se observó que las torres son modeladas suponiendo montantes articulados, que es el caso más desfavorable, pero puede modelarse mediante resortes y tener resultados más consistentes.
8. Si como es deseable, las Escuelas de Ingeniería Civil y Telecomunicaciones mejoraran su comunicación, se podría establecer líneas de investigación común, en el área de las torres de telecomunicaciones, como por ejemplo las vulnerabilidades en las mismas, prácticas para el montaje y la inspección de torres, jornadas conjuntas con estudiantes, profesores, empresas y organismos interesados en el tema, entre otras.
9. En torres de telecomunicación sobre azoteas de edificaciones, las estructuras de transición aumentan considerablemente el período fundamental de la torre considerada como un apéndice estructural. Las fórmulas que se encuentran en el Anexo C de la Norma CANTV NT-001:2007 no contemplan estas estructuras de apoyo, entonces se recomienda realizar estudios para la elaboración de fórmulas semi-empíricas que calculen el período fundamental de una torre de telecomunicaciones sobre estructuras de transición en azoteas de edificaciones, mediante el estudio de las que se encuentran actualmente en funcionamiento.
10. Realizar estudios que permitan conocer el estado actual de algunas de las torres de telecomunicación sobre azoteas de edificios instaladas en nuestro país. De lograrse tener acceso a dicha información, este estudio puede contener el tipo de estructura de transición y su estado actual, para poder evaluar la eficacia de algunos de estos sistemas.
11. En el presente trabajo se desarrolló el Método Estático Equivalente en el análisis de la edificación que soporta a la torre, este método se utiliza en edificaciones de hasta diez (10) pisos o altura menor a treinta (30) metros. Se

CAPITULO VI

recomienda estudiar la utilización del Método de Análisis Dinámico para edificaciones de más de diez (10) pisos o treinta (30) metros de altura.

- 12.** Analizar torres sobre azoteas de edificaciones usando el Análisis Dinámico en el Tiempo Historia (*Time History Analysis*) para evaluar el comportamiento de las torres ante un eventual sismo y los daños a producirse en las mismas antes de que la edificación desarrolle la totalidad de su ductilidad.
- 13.** Investigar la documentación disponible internacionalmente sobre los daños producidos en torres de telecomunicación producto de vientos huracanados y terremotos.
- 14.** Se recomienda incluir las torres de telecomunicación en una línea de investigación asociada a la vulnerabilidad de las mismas. El uso de torres de telecomunicación instaladas sobre azoteas de edificaciones se ha masificado, por lo cual la vulnerabilidad de las mismas es más elevada con respecto a las fundadas en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] American Institute of Steel Construction. (2010). *ANSI/AISC 360-10. Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago. 552 p.
- [2] American National Standards Institute & Telecommunications Industry Association. (2009). *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas*. Virginia: ANSI. 370 p.
- [3] Bazán, E. Meli, R. (2001). *Diseño sísmico de edificios*. México: Editorial Limusa. 317 p.
- [4] BC&A Ingenieros Consultores. (2007). *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión, CANTV 2007*. Norma CANTV NT-001. Caracas. 124 p.
- [5] BC&A Ingenieros Consultores. (2007). *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión, CANTV 2007*. Norma CANTV NT-002. Caracas. 100 p.
- [6] BC&A Ingenieros Consultores. (2007). *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión, CANTV 2007*. Norma CANTV NT-003. Caracas. 38 p.
- [7] CLARO. (2011). *ESPECIFICACIONES TECNICAS DISEÑO DE TORRES DE CLARO PARA CENTROAMERICA*. Colombia. 88 p.
- [8] Comisión Ad-Hoc. (2001). *NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-01:2001. Edificaciones Sismorresistentes. Parte 1: Articulado (1ra Revisión)*. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Infraestructura, FUNVISIS. Caracas: FONDONORMA.
- [9] Comisión Permanente de Normas para Edificaciones del MINDUR. (1998). *Terminología de las Normas Venezolanas COVENIN-MINDUR de Edificaciones*. Norma Venezolana COVENIN 2004-98. , Caracas: Fondonorma. 122 p.
- [10] Gutiérrez, A. (2008). *Propuesta para la actualización de la Norma COVENIN 2003:1987. Acciones del viento sobre las construcciones*. Trabajo de Ascenso a la categoría de Profesor Agregado, Caracas: UCAB. 177 p.

BIBLIOGRAFÍA

- [11] Hernández, H. Rangel, A. López, A. (2010). *Respuesta Dinámica de Torres de Telecomunicación ante Cargas Eólicas en México*. México: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. 29 p.
- [12] Horn, D. (2004). *Design of monopole bases. Technical Manual 1*. Descarga por internet: <https://es.scribd.com/doc/219880336/Technical-manual-1-Design-of-Monopole-Bases>. 114 p.
- [13] IEEE Standard Board. (2001). *IEEE Guide for transmission structure foundation design and testing. IEE Standard 691-2001*. New York. 186 p.
- [14] Martín, P. Parnás, V. (2012). *Análisis sísmico de modelos cubanos de torres autosoportadas de telecomunicaciones*. Revista Cubana de Ingeniería, Vol. III No.2. Resumen de la Tesis de Maestría en Reducción de Desastres de las autoras en el Instituto Politécnico José Antonio Echeverría, Evaluación de la vulnerabilidad de torres autosoportadas de telecomunicaciones bajo cargas de viento y sismo. Cuba. pp. 25-34.
- [15] Montero Pascual, J. (2000). *COMPETENCIA EN LAS COMUNICACIONES MÓVILES, De la telefonía a Internet*. Valencia: Tirant Lo Blanch. pp. 35-47.
- [16] Motorola. (2005). *STANDARDS AND GUIDELINES FOR COMMUNICATION SITES*. Estados Unidos: Motorola. pp. 4-1 – 4-100.
- [17] Smith, J. (1996). *Structural Steel Design: LRFD Approach*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- [18] Sócola, C. Cangás, W. (2014). *Análisis Estructural de las Torres de Telecomunicación para Antenas de Última Tecnología*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. 238 p.
- [19] Tomasi, W. (2003). *Sistema de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Educación. 976p.
- [20] Torres, J. Vásquez, J. (2009). *Acción del Viento sobre Vallas y Mamparas Según la Norma ASCE/SEI 7-05, COVENIN 2003:1987 y CANTV NT-001:2006*. Tesis de Grado. UCAB. Caracas. 110 p.
- [21] Vargas, V. (2007). *Propuesta de Norma de Diseño de Estaciones Radio Base Movilnet en Sitios CANTV*. Tesis de Grado. USB. Sartenejas. 77p
- [22] Vidal, R. (2011). *Estudio comparativo de dos tipologías estructurales para soportes de antenas de telefonía móvil*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. 89 p.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO A: GUÍA METODOLÓGICA PARA HACER UNA TORRE DE TELECOMUNICACIÓN

- 1) Surge la necesidad en una zona determinada de algún servicio de telecomunicaciones, bien sea telefonía, internet, transmisión de datos, entre otros.
- 2) Se forma un equipo de trabajo conformado por expertos en el área de ingeniería de telecomunicaciones, ingeniería civil, ingeniería eléctrica, entre otros.
- 3) El Ingeniero en Telecomunicaciones propone varios posibles sitios de ubicación de la torre de telecomunicación de acuerdo al uso que se requiere darle a la misma.
- 4) El equipo de profesionales analiza los posibles sitios donde podría ubicarse la torre o estructura para soportar las antenas de telecomunicación, este análisis debe evaluar aspectos como: estado de la edificación o terreno, economía de alquiler o adquisición del terreno de ubicación, economía de la estructura necesaria para la colocación de los equipos de acuerdo al sitio y facilidad de acceso al sitio las 24 horas del día los 365 días del año.
- 5) Una vez seleccionado el sitio de ubicación, si la torre estará situada sobre una edificación se deben buscar planos de cómo fue construido el edificio (Planos “*as build*”) del cual se debe extraer directa o indirectamente la siguiente información: resistencia del concreto, distribución del acero en las vigas y/o columnas a utilizar de la edificación, separación entre vigas o columnas, altura del edificio, cantidad de niveles, peso de cada piso, clasificación de la edificación de acuerdo a su uso y el tipo de estructura.
- 6) El Ingeniero en Telecomunicaciones debe determinar la altura de torre que requerirá y sugerir el tipo de estructura más conveniente para la instalación de sus equipos, suministrándole al ingeniero civil las características de los equipos a instalar como: tipo de equipo, peso y área expuesta o diámetro de la antena parabólica.

ANEXO A

- 7) El Ingeniero Civil encargado del diseño de la torre y su estructura de transición debe solicitar al cliente la normativa bajo la cual realizará los cálculos (Véase la Información a ser suministrada por el cliente más abajo en este mismo anexo), ya que las empresas de telefonía y otras utilizan muchas veces distintas normativas nacionales o internacionales.
- 8) Si la torre es de gran importancia y se va a ubicar sobre un edificio, se deben hacer estudios más especializados los cuales determinarán la resistencia exacta del concreto, el estado actual de la misma, la ubicación de los aceros y el riesgo que puede acarrear que falle la estructura.
- 9) El Ingeniero Civil procede a diseñar la torre de telecomunicación o estructura para el soporte de los equipos, y la estructura de transición en caso de requerirse. Las empresas dedicadas al proyecto de torres de telecomunicaciones poseen torres estandarizadas que pueden ser adaptadas a la altura requerida y reforzadas para soportar las cargas a las cuales será expuesta.
- 10) Se deben poseer los estudios de suelo para determinar la zona sísmica, las características del sitio para determinar las fuerzas de viento y los materiales con los que se cuenta en la zona o en el país para poder construir la estructura de la torre y su estructura de transición.

Para calcular la torre se deben seguir los procedimientos que exigen la Norma CANTV 2007 NT-001, NT-002 y NT-003, la Norma TIA-222-G y su suplemento, la Norma Sismorresistente COVENIN 1756-1:2001 y las Normas de acero AISC 360-10.

- 1) Las fuerzas de viento se calculan por nodo de la torre, es decir, la presión ejercida por el viento se debe distribuir por áreas tributarias en todos los nodos de la torre, y la misma se calcula en las direcciones establecidas en las normas. Por ejemplo, en una torre cuadrada se calcula en dirección 0° , 45° y 90° medidos sobre el azimut.
- 2) Si la torre está sobre una estructura existente, las fuerzas por acciones del sismo, se determinarán calculando previamente el espectro de respuesta para la edificación

ANEXO A

con la Norma COVENIN 1756:2001, luego se procede a calcular el espectro de piso con la norma CANTV NT-001:2007 y CANTV NT-002:2007 o la Norma vigente que se esté utilizando.

- 3) Obtenida la ordenada del espectro de piso se procede a calcular las fuerzas sísmicas sobre la torre y sus apoyos sobre la edificación, de manera análoga a como se procede con una edificación apoyada sobre el terreno. Las fuerzas se colocarán en los niveles significativos de la torre, como por ejemplo donde se localizan las antenas, las plataformas de descanso y los diafragmas de la torre. El corte basal en la base de la torre se usará para verificar los dispositivos de anclajes.
- 4) Se diseña la torre, bien sea por medio de programas de cálculo estructural especializados como SAP 2000, Tower, ETABS, o manualmente, ya que estas estructuras son celosías.
- 5) El diseño de la estructura de transición se puede realizar de dos formas distintas, la más favorable, es modelar la estructura de transición en conjunto con la torre, y diseñar todos sus elementos por separado. Otra forma, es modelar la torre sola, una vez obtenida las reacciones que genera la misma, se diseña la estructura de transición paso a paso según lo que establece la Norma AISC 360-10, un ejemplo de cálculo está contenido en el Anexo C de este trabajo.

Como resultados de todo este análisis se deben entregar al cliente la siguiente información:

- 1) Los planos de taller y de construcción, los cuales permitirán fabricar la torre de telecomunicaciones, la estructura de transición y todos los elementos necesarios para su instalación, los cuales deben ser lo suficientemente explícitos para que no se generen confusiones.
- 2) La resistencia de todos los elementos, incluidos los pernos de anclaje y plancha base.
- 3) Las salidas de todos los programas y los cálculos realizados manualmente.

ANEXO A

Información a ser suministrada por el cliente

Para un mejor servicio, el cliente que requiera la construcción de una torre de telecomunicación deberá suministrar la siguiente información:

1. Normas de aplicación

La Norma internacionalmente aceptada es la TIA Standard *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas*, en su versión TIA-222-G y su segundo suplemento, de diciembre de 2009 (TIA-222-G-2), sin embargo hay operadores que mantienen el uso de la versión TIA - 222F. También existe la Norma CANTV 2007.

Es importante especificar la Norma por las implicaciones en cuanto a las velocidades de viento a usar en el proyecto de la torre y por ende en su costo.

Si el solicitante es internacional y desea que el diseño se refiera a normas de su país, debe anexar copia de las partes pertinentes a la información solicitada. En el caso de tratarse de adaptaciones de la normativa TIA, se debe indicar y anexar la información correspondiente a la zonificación sísmica y eólica.

2. Información para el análisis estructural

Para la correcta interpretación de las normas, el cliente deberá suministrar específicamente lo siguiente:

2.1 Acciones del viento

- Clase estructural en la cual se ha clasificado la torre.
- Categoría topográfica. Factor de topografía, K_t , y la altura de la cresta, colina o accidente similar donde se localizará la torre.
- Categoría de exposición al viento
- Velocidades de operación y de sobrevivencia estructural de la torre. Indicar las unidades de velocidad.

ANEXO A

- Espesor y densidad del hielo así como las velocidades de viento a considerar.

IMPORTANTE.- Debe aclararse a que se refiere la velocidad que se especifica: la velocidad de ráfaga de 3 segundos (TIA-222G), velocidad de la milla más rápida (TIA-222F), velocidad promedio de 10 minutos (Eurocodes). Ver tablas para la equivalencia entre diferentes velocidades.

Factor de respuesta

- Rigidez de la estructura en condiciones de operación: ángulo admisible o flexión y por torsión, ambos en grados ($^{\circ}$).
- Dirección desde donde sopla el viento o factor de direccionalidad, K_d .
- Temperatura del ambiente donde opera la torre.

2.2 Acciones sísmicas

En la mayoría de los casos, el sismo no es una acción predominante en las torres de telecomunicaciones. Sin embargo, cuando deba considerarse, deberá suministrarse la información que permita construir el espectro de respuesta establecido en la normativa seleccionada. Si se trata de una torre sobre edificación se debe tener los planos del edificio donde se pueda detallar la configuración de la azotea, su altura, tipo de edificación, uso de la edificación.

2.3 Casos de cargas

Las combinaciones de las solicitaciones para los Estados Límites de Servicio y de Agotamiento Resistente deben ser calculadas con la normativa solicitada por el cliente.

3. Información Geotécnica

Para fines de presupuesto, se predimensionan las fundaciones directas para un suelo normal, es decir con una resistencia de 1 kgf/cm^2 , peso unitario de 1600 kgf/m^3 y un ángulo de

ANEXO A

fricción $\phi = 30^\circ$. Para el proyecto definitivo de las fundaciones de las torres se requiere del Informe Geotécnico del sitio de fundación, con al menos la siguiente información:

- Recomendaciones sobre el tipo de fundación
- Profundidad de asiento de la fundación
- Resistencia del suelo
- Peso unitario del suelo sobre la fundación
- Ángulo de fricción
- Cohesión
- Nivel freático

Si la torre estará ubicada sobre una edificación se deben presentar las características de la edificación, así como su altura, tipo de edificación, uso de la edificación y los planos correspondientes al último piso, donde se pueda detallar la configuración de la azotea.

Es conveniente que el cliente incluya información sobre la disponibilidad de los materiales, tales como acero de refuerzo (diámetros milimétrico o en pulgadas, calidad del acero principal y transversal, F_y), resistencia mínima del concreto estructural a usar en el sitio.



ANEXO B: TABLA COMPARATIVA DE VALORES DE DISEÑO

Para la elaboración de esta tabla comparativa se ha calculado la fuerza del viento y sismo sobre la misma torre sobre edificación utilizada en el presente Trabajo Especial de Grado, fueron consideradas algunas variaciones en la velocidad del viento con la finalidad de obtener valores que no estuviesen en el mínimo y poder comparar los resultados, los valores de diseño en el cálculo del viento son los siguientes: velocidad básica del viento de 120 km/h, Grupo B, Tipo T2 y Tipo de exposición B. Para el efecto topográfico se consideró un escarpado a 45° y 20 m. de altura. En cuanto al edificio utilizado se tomaron las mismas características del empleado en el desarrollo del presente trabajo.

Tabla B-1: Acción vs Fundación

Fundación \ Acción	SISMO (Vs kgf)	VIENTO SIN MAYORAR (Fst kgf)	VIENTO MAYORADO (Fst kgf)
Sobre Terreno sin considerar Efecto Topográfico	317	856	1370
Sobre Terreno considerando Efecto Topográfico	444	905	1448
Sobre Edificio	705	1090	1744

Fuente: Elaboración propia.

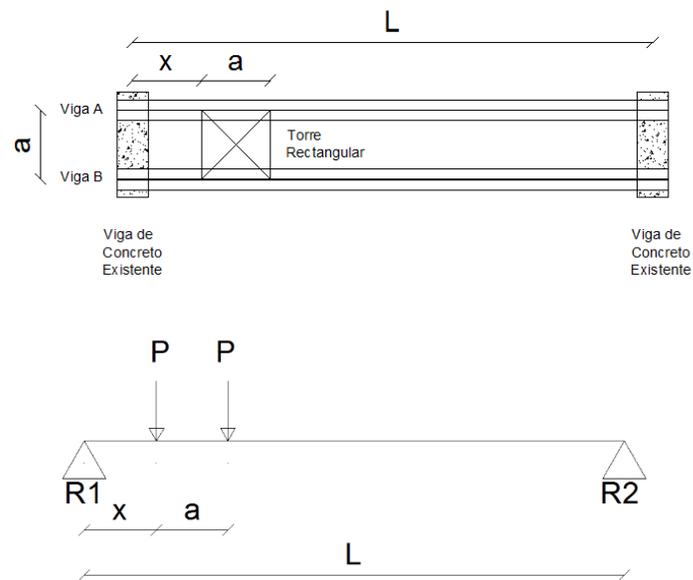
Como se puede observar el viento es la acción predominante en todos los casos de fundación, ya que el 50% del cortante por viento mayorado arroja un valor superior al cortante basal por sismo, por lo tanto de acuerdo con la Norma CANTV 2007, no es necesario realizar el proyecto sismorresistente.

Siempre se deben tener en consideración todas las comprobaciones exigidas por las normativas vigentes, tanto de la torre como de la edificación, ya que si se desprecian aspectos importantes se puede obtener un mal diseño de la torre de telecomunicaciones y su estructura de transición, lo que puede poner en riesgo su estabilidad.

ANEXO C

ANEXO C: EJEMPLO NUMÉRICO

Diseñar y calcular la estructura de transición mostrada, la cual se encuentra apoyada sobre vigas de concreto existentes, como fundación de una torre de telecomunicaciones de sección cuadrada. Utilizar vigas en acero A-36, planchas en A-36 y pernos A-325.

Datos:

$$L = 5.00 \text{ m.}$$

$$a = 0.66 \text{ m}$$

$$x = 0.67 \text{ m}$$

Solicitaciones de la Torre:

Compresión (P): 13312 kgf.

Tracción: 12490 kgf.

Corte: 350 kgf.

*ANEXO C***Solución:****1. Estática:****1a. Reacciones por Compresión:**

$$\sum M_1: -P*x - P*(x+a) + R2*L = 0$$

$$R2 = (13312*0.67 + 13312*(0.67 + 0.66))/5.00 = 5321 \text{ kgf.}$$

$$\sum F_v: R1 + R2 - P - P = 0$$

$$R1 = 13312 + 13312 - 5321 = 21273 \text{ kgf.}$$

1b. Reacciones por Tracción:

$$\sum M_1: -P*x - P*(x+a) + R2*L = 0$$

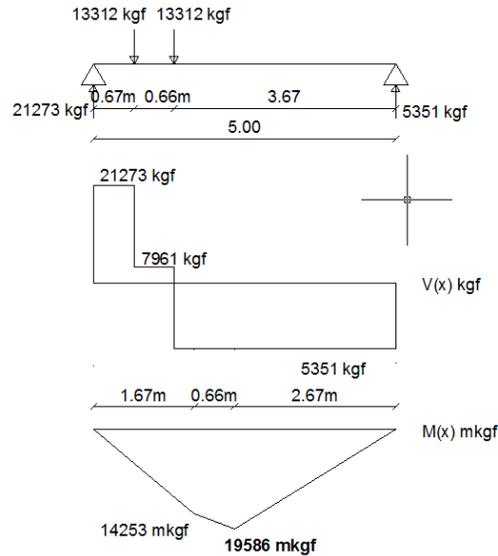
$$R2 = (12490*0.67 + 12490*(0.67 + 0.66))/5.00 = 5021 \text{ kgf.}$$

$$\sum F_v: R1 + R2 - P - P = 0$$

$$R1 = 12490 + 12490 - 5021 = 19960 \text{ kgf.}$$

ANEXO C

Diagramas por Compresión:



1c. Solicitaciones de Diseño

$$R1 = 21273 \text{ kgf}$$

$$R2 = 5351 \text{ kgf}$$

$$M_{ux} = 19586 \text{ mkgf} \approx 19600 \text{ mkgf}$$

2 Selección de Viga de Acero:

$$F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$$

De la Fórmula F2-1 de la AISC 360-10 se tiene que:

$$Z_x \text{ requerido} = M_{ux}/F_y = 19600 \cdot 100 / 2530 = 774.7 \text{ cm}^3$$

Se busca un perfil con Z_x mayor o igual al requerido:

$$\text{IPE 360} \rightarrow Z_{x \text{ diseño}} = 1020 \text{ cm}^3$$

*ANEXO C***3 Verificación de Pandeo local en las alas:**

De acuerdo con la Tabla B4.1b de la Norma AISC 360-10, para el caso 10 (alas compactas), se tiene que:

$$\frac{bf}{2tf} < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$bf/2tf = 170/(2*12.7) = 6.69$$

$$0.38 \sqrt{E/f_y} = 0.38*\sqrt{(2.1 \times 10^6/2530)} = 10.95$$

$$6.69 < 10.95 \rightarrow \text{VERIFICA}$$

4 Verificación por pandeo local del alma

De acuerdo con la Tabla B4.1b de la norma AISC 360-10, para el caso 15 (alma compacta), se tiene que:

$$\frac{h}{tw} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$h/tw = 37.30$$

$$3.76 \sqrt{E/f_y} = 3.76 \sqrt{(2.1 \times 10^6/2530)} = 108.33$$

$$37.3 < 108.33 \rightarrow \text{VERIFICA}$$

5 Arriostramiento Lateral:

$$L_b = 1.50 \text{ m}$$

$$L_r = 5.29 \text{ m (de acuerdo con AISC 360-10, Fórmula F2-6)}$$

ANEXO C

$L_p = 1.94$ m (de acuerdo con AISC 360-10, Fórmula F2-5)

Ya que $L_b < L_p$, se tiene que:

Este límite no aplica según F2.2 de AISC 360-10

6 Verificación por Corte

$$V_u < \phi_v V_t$$

$$\frac{h}{tw} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$h/tw = 37.30$$

$$2.24 \sqrt{E/f_y} = 2.24 \sqrt{(2.1 \times 10^6 / 2530)} = 64.54$$

$$C_v = 1 \text{ (G2-2 AISC 360-10)}$$

$$\phi = 1 \text{ (LRFD)}$$

$$\phi V_t = 0.6 F_y A_w C_v = 0.6 * 2530 * (8 * 360/100) * 1 = 43720 \text{ kgf}$$

$$43720 \text{ kgf} > 21273 \text{ kgf} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

7 Solicitaciones Simultaneas

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b * M_{tx}} + \frac{M_{ry}}{\phi_b * M_{py}} \right) < 1$$

$$M_{ry} = \text{Corte} * (d/2) = 350 * (0.36/2) = 63 \text{ mkgf}$$

$$0.86 < 1 \rightarrow \text{VERIFICA}$$

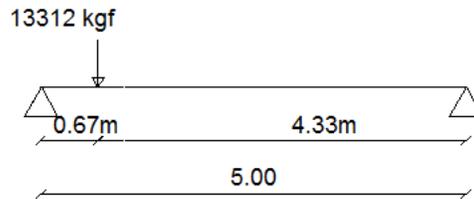
ANEXO C

8 Verificación por Flecha

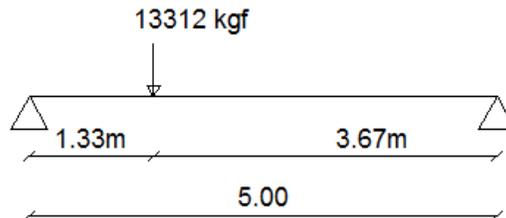
$$\Delta_1 + \Delta_2 < \Delta_{\text{máx}}$$

$$\Delta = \frac{P a^2 b^2}{3 E I L}$$

$$\Delta_1 = \frac{13312 \times 67^2 \times 433^2}{3 \times 2.1 \times 10^6 \times 16270 \times 500} = 0.34 \text{ cm}$$



$$\Delta_2 = \frac{13312 \times 133^2 \times 367^2}{3 \times 2.1 \times 10^6 \times 16270 \times 500} = 0.72 \text{ cm}$$



$$\Delta_{\text{máx}} = \frac{L}{360} = \frac{500}{360} = 1.39 \text{ cm}$$

$$1.06 \text{ cm} < 1.39 \text{ cm} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Efecto de las Cargas Concentradas.

1a. Flexión local del ala cargada (Sección J10.1, AISC 360-10)

ANEXO C

Utilizando la Fórmula J10-1 de AISC 360-10, con $\phi = 0.90$

$$\phi R = 6.25 F_y t f^2 = 6.25 \times 2530 \times 1.27^2 =$$

$$25504 \text{ kgf} > 13312 \text{ kgf} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

1b. Por cedencia local del alma en el tramo (Sección J10.2, AISC 360-10)

Utilizando la **Fórmula J10-3** de AISC 360-10 (condición más desfavorable, apoyo cerca de la carga)

$$\phi R_t = \phi F_y w t w (2.5 d_f + l_b) > \text{Carga}_{\text{Máx}} (\text{Tracción o Compresión})$$

Con $\phi = 1$

$$\phi R_t = \phi F_y w t w (2.5 d_f + l_b) = 1 \times 2530 \times 0.8 \times (2.5 \times 3.1 + 67) = 151294 \text{ kgf}$$

$$151294 \text{ kgf} > 13312 \text{ kgf} \rightarrow \text{NO RIGIDIZAR}$$

1c. Por falla local del alma (“crippling”) en el Tramo (Sección J10.3, AISC 360-10)

Distancia al apoyo = 0.67 m > 0.36/2 = 0.18m

Se utilizará la **Fórmula J10-4** de la AISC 360-10, con $\phi = 0.75$

$$\phi R_t = \phi 0.80 t w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t w}{t f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y w t f}{t w}}$$

$$\phi R_t = 0.75 * 0.80 * 0.8^2 \left[1 + 3 \left(\frac{67}{36} \right) \left(\frac{0.8}{1.27} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 * 2530 * 1.27}{0.8}}$$

$$= 133708 \text{ kgf} > 133120 \text{ kgf} \rightarrow \text{NO RIGIDIZAR}$$

ANEXO C

1d. Desplazamiento Lateral del alma por pandeo (Sección J10.4, AISC 360-10)

La rotación está impedida, ya que los perfiles están arriostrados entre sí.

$$\frac{\frac{h}{tw}}{\frac{lb}{bf}} = \frac{\frac{360 - 22 \times 2}{8}}{\frac{2000}{170}} = \frac{39.50}{11.76} = 3.36 \geq 2.30$$

Este límite **No aplica**.

1e. Pandeo por Compresión con el Alma (Sección J10.5, AISC 360-10)

Condición más desfavorable, carga aplicada a una distancia menor a $d/2$, se deberá reducir la resistencia en un 50%.

$$R_t = \frac{24 tw^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} = \frac{24 \times 0.8^3 \sqrt{2.1 \times 10^6 \times 2530}}{36} = 24880 \text{ kgf}$$

$$\phi R_t = 0.9 \times 0.5 \times 24880 = 11196 \text{ kgf}$$

$$\phi R_t > P = 11196 \text{ kgf} < 13312 \text{ kgf} \rightarrow \text{RIGIDIZAR}$$

El perfil no cumple con todos los criterios de verificación y por norma debe ser rigidizado.

Rigidizadores (Sección J10.8, AISC 360-10)

-Área de Aplastamiento Requerida:

$$A_{pb} \geq \frac{R_u}{2\phi F_y} = \frac{13312}{2 \times 0.75 \times 2530} = 3.51 \text{ cm}^2$$

ANEXO C

-Anchura del Rigidizador:

$$b = 0.5 \times (bf - tw) = 0.5 \times (170 - 8) = 81 \text{ mm} = 8.1 \text{ cm}$$

-El espesor se calculará de la siguiente manera:

$$t = \frac{0.5 \times A_{pb}}{(b - df_1)} = \frac{0.5 \times 3.51}{(8.1 - 2.2)} = 0.29 \text{ cm} = 3 \text{ mm}$$

Se empleará un espesor de $t/2$ como rigidizador, es decir 6.5 mm o mayor.

Pernos:

Se utilizarán 4 pernos de 13mm (1/2”), en acero ASTM A-325 N

$$F_{tv} = 3800 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (Tabla J3.2 AISC 360-10)}$$

$$A_b = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_t = 0.75 f_{nv} A_b = 0.75 \times 3800 \times 1.27 = 3620 \text{ kgf/perno}$$

$$\phi R_t = 3620 \times 4 = 14480 \text{ kgf} > \text{Tracción} = 12490 \text{ kgf} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Plancha de Asiento:

Se utilizará una plancha de 24.5 x 24.5 cm en Acero ASTM A-36 y cuyo espesor será determinado por apalancamiento (“*prying action*”).

Determinación de Espesor por Apalancamiento:

$$T = \frac{Nu}{nb} = \frac{12490}{4} = 3122.5 \text{ kgf/perno}$$

$$b = \frac{g - tw}{4} = \frac{19 - 0.8}{4} = 4.52 \text{ cm} > 3.2 \text{ cm (Necesario para apretar)}$$

ANEXO C

$$b' = b - \frac{db}{2} = 4.52 - \frac{1.3}{2} = 3.87 \text{ cm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4.44 T b'}{p Fu}} = \sqrt{\frac{4.44 * 3122.5 * 3.87}{19 * 4080}} = 0.83 \text{ cm} \approx 9 \text{ mm}$$

Se comprueban los siguientes casos:

1. Cedencia en el área total:

$$F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_g = 24.5 \times 0.9 = 22.05 \text{ cm}^2$$

$$\phi N_t = 0.9 f_y A_g = 0.9 \times 2530 \times 22.05 = 50208 \text{ kgf}$$

$$\phi N_t = 50208 \text{ kgf} > \text{Tracción} = 12490 \text{ kgf} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

2. Rotura en el área efectiva:

$$A_n = A_g - (da t) \leq 0.85 A_g$$

$$A_n = 22.05 - (2 \times (1.3 + 0.3) \times 0.9) = 19.17 \leq 0.85 \times 22.05 = 18.74 \text{ cm}^2$$

$$\phi_a = 1 \text{ (Tabla D3.1, AISC 360 - 10)}$$

$$A_e = \phi_a A_n = 1 \times 18.74 = 18.74 \text{ cm}^2$$

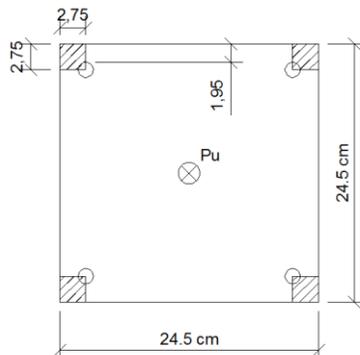
$$F_u = 4080 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\phi N_t = 0.75 f_u A_e = 0.75 \times 4080 \times 18.74 = 57344 \text{ kgf}$$

$$\phi N_t = 57344 \text{ kgf} > \text{Tracción} = 12490 \text{ kgf} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

ANEXO C

3. Bloque de corte:



$$\phi R_n = 0.75 [U_{sb} f_u A_{nt} + 0.6 f_u A_{nv}]$$

$U_{sb} = 1.00$ Según especificación del AISC del año 2005.

$$f_u = 4080 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_{nt} = 2.75 \times 0.9 \times 2 = 4.95 \text{ cm}^2$$

$$\phi R_n = 0.75 [U_{sb} f_u A_{nt} + 0.6 f_u A_{nv}] = 0.75 * [1.00 \times 4080 \times 4.95 + 0.6 \times 4080 \times 0] =$$

$$\phi R_n = 15147 \text{ kgf/bloque} \times 4 = 60588 \text{ kgf} > \text{Tracción} = 12491 \text{ kgf} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

Plancha Base:**Datos:**

ASTM A-36

$$F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_u = 4080 \text{ kgf/cm}^2$$

ANEXO C

Viga de Concreto:Fy: 250 kgf/cm²

B = 30cm

Solución:

Reacciones de la estructura de transición sobre la viga de concreto:

Ru: 21275 kgf

1. Verificación por cedencia local del alma.

Usando el manual de la AISC, tabla 9-4 y la Fórmula 9-45a, se tiene que:

$$lb = \frac{Ru - \phi R1}{\phi R2} \geq df \Rightarrow lb = \frac{21275 \text{ kgf} - 15686 \text{ kgf}}{2024 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}} \geq 3.1 \text{ cm}$$

$$2.76 \text{ cm} \leq 30 \text{ cm} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

2. Verificación por Falla Local (“Crippling”) del alma:

$$\frac{lb}{d} = \frac{30 \text{ cm}}{36 \text{ cm}} = 0.87$$

Como lb/d > 0.2 se utiliza la Fórmula 9-48a.

$$lb_{req} = \frac{Ru - \phi R5}{\phi R6} = \frac{21275 \text{ kgf} - 15870 \text{ kgf}}{980 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}} =$$

$$5.51 \text{ cm} < 30 \text{ cm} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

3. Verificación de la Viga de Concreto.

Fórmula J8-1, de Norma AISC 360-10,

Con $\phi = 0.65$

ANEXO C

$$\phi P_p = \phi 0.85 f_c A = 0.65 \times 0.85 \times 250 \text{ kgf/cm}^2 \times (30 \text{ cm})(17 \text{ cm}) =$$

$$70443.75 \text{ kgf} > 21275 \text{ kgf} \rightarrow \text{VERIFICA}$$

4. Cálculo de plancha requerida:

Utilizando la Fórmula J8-1 de la norma AISC 360-10, con $\phi=0.65$

$$A = \frac{R}{\phi 0.85 f_c} = \frac{21275 \text{ kgf}}{0.65 \times 0.85 \times 250 \text{ kgf/cm}^2} = 154 \text{ cm}^2$$

Para una viga de 30 cm. de anchura, se usara una plancha de 30 cm. de anchura también, se tiene que:

$$B_{req} = \frac{A}{\text{Ancho}} = \frac{154 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 5 \text{ cm}$$

Se utilizará una plancha de 30 x 20 cm

El espesor de la plancha será el siguiente:

$$n = \frac{B}{2} - df_1 = \frac{20 \text{ cm}}{2} - 2.2 \text{ cm} = 7.8 \text{ cm}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{2 R n^2}{\phi A F_y}} = \sqrt{\frac{2 \times 21275 \text{ kgf} \times (7.8 \text{ cm})^2}{0.90 \times (30 \text{ cm}) \times (20 \text{ cm}) \times \frac{2530 \text{ kgf}}{\text{cm}^2}}} = 1.38 \approx 2 \text{ cm}$$

La estructura de transición se construirá como se presenta a continuación:

Dos (2) Vigas IPE 360 en acero A-36 de 5 m. de longitud, 8 planchas de 10 mm. de espesor de dimensiones 24.5 x 24.5 cm. (una debajo de las montantes y la otra abajo del perfil), 4 pernos por plancha con doble tuerca y arandela de seguridad, arriostramientos cada 2.0 m. y 4 rigidizadores por plancha en el borde de la misma de 6.5 mm. de espesor. Como plancha base se utilizará una plancha de 30 x 20 x 2 cm. en acero ASTM A-36.

ANEXO D

ANEXO D: EJEMPLO ESPECTRO DE PISO

1 Datos

1.1 Caracterización de la estructura de soporte, según la Norma COVENIN 1753:2001

Zona sísmica 5, $A_o = 0.30$

Forma espectral S2 con $\varphi = 0.9$ $\beta = 2.6$ $T_o = 0.18$ seg $T^* = 0.70$ seg. $p = 1$

Edificio de oficinas, Grupo B1, $\alpha = 1.15$

$T_a = C_t * h_n^{0.75} = 0.07 * (21^{*0.75}) = 0.687$ seg.

$T_s = T_a = 0.687$ seg. Y según la Fórm. (7.3) con $R = 1$, $A_{d,s} = 0.514$ (Espectro elástico).

Tabla D.1 Tabla para el análisis Estático

Nivel	h_i , m	W_i , 10^3 kgf	$W_i h_i$ 10^3 m kgf	$W_i h_i / \Sigma W_i h_i$
7 (Techo)	21	448.80	9424.8	0.250
6	18	448.80	8078.4	0.214
5	15	448.80	6732.0	0.179
4	12	448.80	5385.6	0.143
3	9	448.80	4039.2	0.107
2	6	448.80	2692.8	0.071
1	3	448.80	1346.4	0.036
	$\Sigma =$	3141.6	37699.2	1.000

Fuente: Elaboración Propia

1.2 Caracterización de la torre autoportada

Peso, $W_a = 1780$ kgf Período, $T_a = 1.1$ seg. (Obtenido en SAP 2000)

De la Norma CANTV NT-001, Capítulo 8: $R = 3$ $\xi_a = 0.08$,

2 Cálculos intermedios

$\beta^* = 3.13$

$c = 0.99$ (Fórmula 10.5)

$\tau = 0.325$ (Fórmula 10-8 y 10-9)

$\mu = 0.000566 \rightarrow$ No se considera el efecto de la Torre sobre la Edificación.

Cálculo de $A_{d,t}$ (Fórmula 10.7)

Se calculará $A_{d,s}$ del Artículo 7.2 de la COVENIN 1756:2001

ANEXO D

Como $T_o = 0.18 < T_s = 0.687 < T^* = 0.70$ Se usará la Fórmula (7.2) con $R = 1$ con $T = T_s = 0.687$

$$A_{d,s} = \frac{\alpha \varphi \beta A_o}{R} = \frac{1.15 \times 2.6 \times 0.90 \times 0.3}{1} = 0.8073$$

$$A_{d,t} = \left(0.06 \frac{T_s}{T^*} - 0.02\right) A_{d,s} \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{W_n} = \left(0.06 \frac{0.687}{0.7} - 0.02\right) 0.8073 \frac{3141.6 \times 10^3}{448.80 \times 10^3}$$

$$A_{d,t} = 0.221$$

$$A_{d,t} \text{ Está acotada entre } 0.04 \times 5.651 = 0.226 \text{ y } 0.1 \times 5.651 = 0.565$$

Para construir el espectro tomaremos algunos valores arbitrarios de T , pero convenientes para ilustrar el uso de todas las fórmulas

Cálculo de $A_{d,p}$ (Fórmula 10.6)

$$A_{d,p} = A_{d,s} \frac{h_n \sum_{i=1}^n W_i}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} + A_{d,t} = 0.8073 \left(\frac{21 \times 3141.6 \times 10^3}{37699.2 \times 10^3} \right) + A_{d,t}$$

Cálculo de $A_{d,a}$ (Fórmulas 10.1 a 10.3)

De la edificación, con $T_s = 0.687$ seg.

$$T_p^* = 1.15 T_s = 0.79 \text{ seg.} \quad T_o = 0.85 T_s = 0.58 \text{ seg.}$$

De la Tabla 10.1, para $R < 5$, $T_p^+ = 0.1 (3-1) = 0.20$

Pero por la condición $T_p^* = 0.79 > T_p^+ > T_o = 0.58$

Se usará $T_p^+ = 0.58$ seg.

$$\beta^* = 1 / (4 \xi_a) = 1 / (4 \times 0.08) = 3.125$$

$$B = \beta^* \sqrt{0.10 + 5.29 \xi_a^2} = 3.125 \sqrt{0.10 + 5.29 \times 0.08^2} = 1.14332$$

$$c = \sqrt[4]{\frac{R}{\beta^*}} = \sqrt[4]{\frac{3}{3.125}} = 0.98985$$

Entre $T = 0$ y $T \leq T_p^+ = 0.58$ seg, se usará la Fórmula (10-1)

ANEXO D

$$A_{d,a} = \frac{A_{d,p} \left[1 + \frac{T_a}{T_p^+} (\beta^* - 1) \right]}{\left[1 + \left(\frac{T_a}{T_p^+} \right)^c (R - 1) \right]} \quad (10-1)$$

T = 0 A_{d,a} = A_{d,p} = 1.639

T = 0.08 A_{d,a} = 1.654

T_{p+} = 0.58 A_{d,a} = 1.707

Entre T = 0.58 > T_{p+} y T_{p*} = 0.79 se usará la Fórmula (10-2)

$$T_p^+ \leq T_a \leq T_p^* : A_{d,a} = \frac{A_{d,p} \beta^*}{R} \quad (10-2)$$

T = 0.7 A_{d,a} = 1.707

T = 0.93 A_{d,a} = 0.774

Para T > T_{p*} = 0.93 se usará la Fórmula (10-3)

$$A_{d,a} = \frac{B A_{d,p}}{R} \left[(1 - \tau^2)^2 + (2\tau\xi_a)^2 \right]^{-0.5} \quad (10-3)$$

con $\tau = T_a / T_s \geq 1.15$ y B = 1.14332

Para T = 1.0

$$\tau = 1 / 1.1 = 0.91 \geq 1.15 \text{ Se toma } \tau = 1.15$$

A_{d,a} = 0.594

Para T = 1.25

$$\tau = 1.25 / 1.1 = 1.14 \geq 1.15 \text{ Se toma } \tau = 1.15$$

A_{d,a} = 0.311

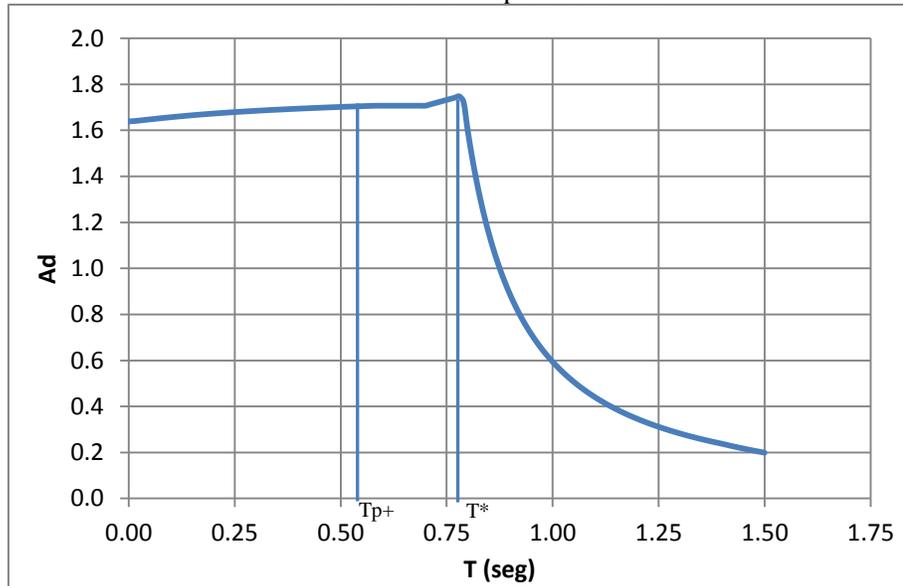
Para T = 1.50

$$\tau = 1.5 / 1.1 = 1.37 \geq 1.15$$

A_{d,a} = 0.2

ANEXO D

Gráfico D.1 Espectro de Piso



Fuente: Elaboración propia en programa Excel

ANEXO E

**ANEXO E: COMPARACIÓN NORMA COVENIN 1756:2001 Y CANTV
NT-002:2007**

NORMA CANTV NT-002, 2007

Del Espectro de piso CANTV, $V_o = V_s = A_{d,a} W \mu$

Con $T_a = 1.1$ (Apéndice) $A_{d,a} = 0.44$

$V_s = 0.44 \times 1780 \times 0.9 = 705 \text{ kgf}$

Tomando el mayor valor de $A_{d,a}$ del espectro, resulta $V_s = 1.723 \times 1780 \times 0.9 = 2760 \text{ kgf}$

NORMA COVENIN 1756:2001, Sección 7.3.2

$$F_p = (F_i / W_i) C_p W_p \quad (7.4)$$

$$F_i / W_i \geq \alpha \varphi A_o = 0.9 \times 1 \times 0.3 = 0.27$$

$C_p = 6 / R = 6 / 3 = 2$ mismo valor que para equipos, etc.

$$F_{p \text{ mín}} = 0.27 \times 2 \times 1780 = 961.2 \text{ kgf.}$$

El valor de F_i se obtiene con la siguiente Fórmula

$$F_i = (V_o - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (9-11)$$

El corte basal es $V_o = \mu A_d W$

El mayor valor de μ resultó con la Fórmula (9-2), $\mu = 0.87 \approx 0.90$ (como recomienda la Norma CANTV para torres).

$$\text{Con } T = 0.687 \text{ seg, } A_d = 0.807, V_o = 0.9 \times 0.807 \times 3141.6 \times 10^3 = 2282592 \text{ kgf}$$

$$\text{Con la Fórmula (9-9), } F_t = 0.0400, V_o = 91304 \text{ kgf, } (V_o - F_t) = 2191288 \text{ kgf}$$

Aprovechando la Tabla de Datos, el valor de F_i en el nivel 7 es

ANEXO E

$$F_i = (W_i h_i / \sum W_j h_j) (V_o - F_t) = 0.25 \times 2191288 = 547822 \text{ kgf}$$

Sustituyendo variables en la Fórmula (7.4)

$$F_p = (547822/448800) \times 2.0 \times 1780 = \mathbf{4343 \text{ kgf}}$$

Es decir, un **36.45 %** mayor que el valor dado por el espectro de piso de CANTV.

Tabla E.1: Corte Basal (Vs)

NORMA		Vs (kgf)	% de Diferencia
CANTV	Espectro de Piso (CANTV NT-002:2007 Capítulo 10)	2760	63% del valor calculado con COVENIN
	Vs min (CANTV NT-001:2007 Artículo 8.6)	134	3.1% del valor calculado con COVENIN
COVENIN 1756-1:2001 (Sección 7.3.2)		4343	Cota superior

Fuente: Elaboración propia

Esto nos hace concluir que se puede calcular el corte basal de la torre sobre la edificación de dos formas, mediante el espectro de piso (CANTV 2007) y utilizando una fuerza de tope aplicada a la torre (COVENIN 1756-1:2001), sin embargo si se calcula con la Norma CANTV 2007 el corte basal arrojará un valor más acorde.

ANEXO F

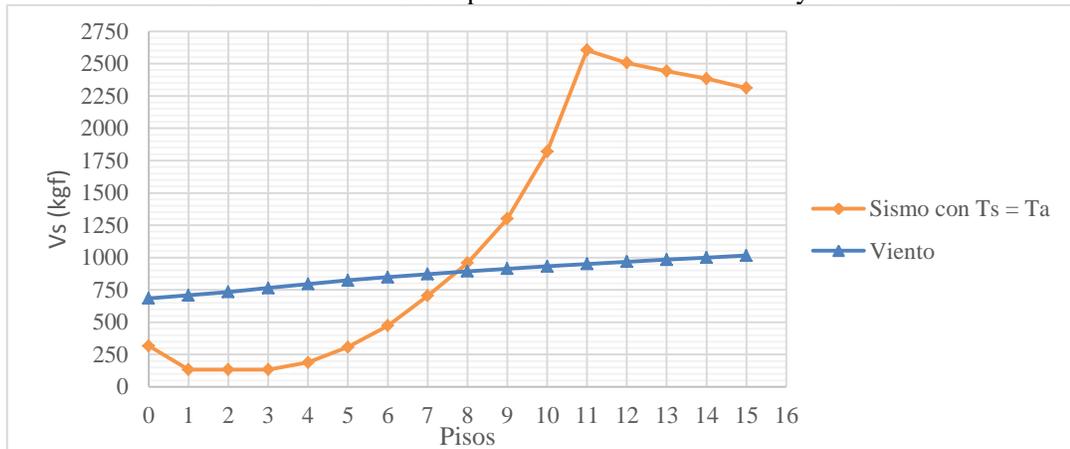
ANEXO F: GRÁFICAS DE ALTURA VS SISMO Y VIENTO

Se calculó el corte basal por sismo utilizando el espectro de piso y la fuerza generada por viento para diferentes alturas de edificación, y así poder obtener una gráfica que muestra en el nivel de pisos aproximadamente donde se debería considerar el sismo como parte del proyecto de la torre para las características del edificio seleccionado. En este análisis se están comparando fuerzas elásticas del viento sobre la torre con las del sismo en la base de la misma para $R = R_a = 3$, valor de ductilidad reducida.

La norma sísmica AISC 341-10 considera $R=3$ para los sistemas no específicamente proyectados (análisis, diseño y detallado) para resistencia sísmica, tal como se consideró la torre y su estructura de transición.

Para este ejemplo se utilizó el edificio propuesto en el cuerpo del Trabajo Especial de Grado y las condiciones de viento del Gráfico V.1.

Gráfico F.1 Número de pisos vs Sismo con $T_s = T_a$ y Viento



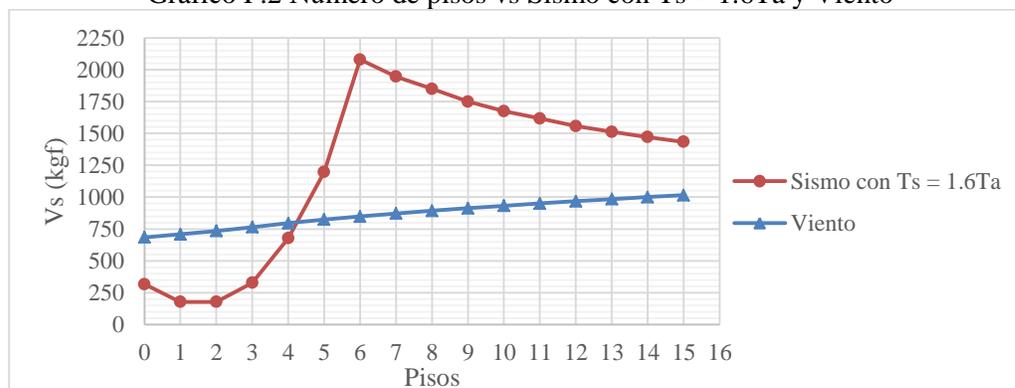
Fuente: Elaboración propia en programa Excel

ANEXO F

Como se puede observar aproximadamente a partir del piso ocho (8), ya debería ser considerado el proyecto sísmico en el cálculo de la torre sobre azotea, ya que el cortante basal por sismo comienza a ser mayor al 50% de la fuerza mayorada por el viento.

En la Gráfica F.1 se observa que la curva de sismo cambia su tendencia. En el caso de $T_s = T_a$, a partir del piso once (11) para el periodo fundamental de la torre de 1.1 segundos la aceleración de diseño $A_{d,a}$ se obtiene con la segunda rama del espectro de piso y por ende $A_{d,a}$ va disminuyendo progresivamente arrojando valores de cortante basal por sismo cada vez más reducidos.

En la Gráfica F.2 el período fundamental de la edificación se multiplicó por 1.6, conforme con la Norma COVENIN 1765-1:2001 para el control de la fuerza cortante al emplear métodos dinámicos de análisis, se observa que a partir del piso cuatro (4) se debe considerar el análisis sísmico en el proyecto. Como se observa la curva de sismo cambia su tendencia al entrar a otra rama o fórmula del espectro de piso, tal como en la Gráfica F.1 con el método estático, pero lo hace más rápido, ya que el período se incrementa 1.6 veces más. A partir del piso seis (6), para el período fundamental de la torre de 1.1 segundos la aceleración de diseño $A_{d,a}$ obtenida es de la segunda rama del espectro de piso y por ende $A_{d,a}$ va disminuyendo progresivamente arrojando valores de cortante basal por sismo cada vez más reducidos.

Gráfico F.2 Número de pisos vs Sismo con $T_s = 1.6T_a$ y Viento

Fuente: Elaboración propia en programa Excel

ANEXO G

ANEXO G: INDICE DEL CONTENIDO DEL CD

- 1) Afiche del Trabajo Especial de Grado.
- 2) Análisis sísmico de modelos cubanos de torres autosoportadas de telecomunicaciones.
- 3) Entrevistas realizada a INESA, empresa calculista de torres.
- 4) Entrevistas realizada a PRINCIVI, empresa calculista de torres.
- 5) Guía para análisis dinámico en el programa SAP 2000.
- 6) Guía para Modelado de torres de Telecomunicación en el programa SAP 2000.
- 7) Hoja de Excel para calcular diagrama de presiones por viento.
- 8) Hoja de Excel para el cálculo de estructuras de transición.
- 9) Hoja de Excel para el cálculo del efecto sísmico.
- 10) Lista de Chequeo de información a ser suministrada por el cliente.
- 11) Manual de Cálculo de la Norma TIA 222-G-2.
- 12) Manual de Estructuras de Acero Perfiles L, alas iguales Cuaderno N° 3
- 13) Material sobre análisis dinámico.
- 14) Modelo de torre y estructura de transición en programa SAP 2000.
- 15) Norma AISC 360-10 “*Specification for Structural Steel Buildings*”.
- 16) Norma ANSI/TIA-222-G:2005 “*Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas*”.
- 17) Norma ANSI/TIA-222-G-2:2009 “*Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas-Addendum 2*”.
- 18) Norma CANTV NT-001:2007 “*Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soporte de Antenas de Transmisión*”.
- 19) Norma CANTV NT-002:2007 “*Proyecto Estructural de Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*”.
- 20) Norma CANTV NT-003:2007 “*Fabricación, Construcción y Montaje de Torres y Estructuras de Soporte para Antenas*”.
- 21) Norma COVENIN 1756-01:2001 “*Edificaciones Sismorresistentes, Parte I: Articulado*”.
- 22) Norma COVENIN 1756-02:2001 “*Edificaciones Sismorresistentes, Parte II: Comentarios*”.
- 23) Norma COVENIN 3400:1998 “*Impermeabilización de Edificaciones*”.
- 24) North American Tower Failure, Causes and Cures. David K. Davies.
- 25) Presentación del Trabajo Especial de Grado.
- 26) Proceso de las telecomunicaciones.
- 27) Respuesta Dinámica de Torres de Telecomunicación ante Cargas Eólicas en México.
- 28) Trabajo de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.
- 29) Trabajo Especial de Grado en formato PDF.