



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ACATLÁN**

**“INFRAESTRUCTURA PARA TORRES  
AUTOSOPORTADAS  
EN UNA ESTACIÓN REPETIDORA”**



**MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
I N G E N I E R O     C I V I L  
P R E S E N T A :  
LUIS ALBERTO ROCHE GARCÍA**



**ASESOR: ING. ABEL ÁNGEL LÓPEZ MARTÍNEZ**

**AGOSTO 2005**

m347631



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

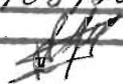
## AGRADECIMIENTOS

*A mi madre  
a quién le debo todo lo que soy  
con cariño y gratitud.  
Sra. Amelia García Rubio*

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: LUIS ALBERTO ROCHE  
GARCIA

FECHA: 31/08/2005

FIRMA: 

*A mis hermanas  
Nithe, Elizabeth y Martita  
que sientan el presente como un  
estímulo de superación.*

*A mi esposa Margarita  
gracias por tu apoyo, tu paciencia  
y tu motivación  
Te amo.*

*A mis hijos  
Luis, Israel, Karina, Carlos y Angel  
que este trabajo sirva como ejemplo  
y motivación para sus aspiraciones futuras.*

*A mi asesor Ing. Abel Angel López Martínez  
que gracias a su apoyo  
logré culminar lo que hace tiempo empecé.*

# INDICE

<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo 1. Antecedentes</b>	4
1.1. Necesidad de comunicación	5
1.2. Estudio socioeconómico	7
1.3. Intereses políticos	8
<b>Capítulo 2. Generalidades</b>	13
2.1. Fabricación del acero	14
2.2. Clasificación del acero	15
2.3. Características del acero	17
2.4. Perfiles de acero	20
2.5. Galvanizado	22
<b>Capítulo 3. Proyecto estructural</b>	25
3.1. Tipos de torres	26
3.2. Torres autosoportadas	27
3.3. Fuerzas gravitacionales	30
3.4. Normas y criterios para análisis y diseño de torres autosoportadas	36
<b>Capítulo 4. Ingeniería del sitio</b>	46
4.1. Panorama general	47
4.2. Cálculo del enlace	48
4.2.1. Estudio de gabinete	48
4.2.1.1 Poligonal abierta	48
4.2.1.2 Disponibilidad del sistema	59
4.2.1.3 Microondas	63
4.2.1.4 Línea de vista	64
4.2.2. Estudio de campo	68
<b>Capítulo 5. Instalación de torres autosoportadas</b>	70
5.1. Tramos estructurales	71
5.2. Conexiones atornilladas	75
5.3. Orientación y verticalidad de la torre	78
5.4. Accesorios estructurales de la torre	79
5.5. Tipos de antenas	80
5.6. Líneas de transmisión	81
5.7. Sistema de iluminación	82
5.8. Pintura de la estructura	84
5.9. Estación repetidora	86
<b>Conclusiones</b>	88
<b>Glosario</b>	92
<b>Bibliografía</b>	95

## CONTENIDO DE FIGURAS Y TABLAS

### FIGURAS

1. Enlace urbano o local.	5
2. Enlace interurbano o de larga distancia por fibra óptica.	6
3. Enlace interurbano o de larga distancia por radiofrecuencia.	6
4. Enlaces interurbanos o de larga distancia vía satélite.	7
5. Localidades atendidas de entre 100 y 500 habitantes.	10
6. Tecnología utilizada en la atención de poblaciones rurales.	11
7. Gráfica esfuerzo – deformación unitaria del acero tipo A-36.	19
8. Perfiles de acero (designaciones IMCA).	21
9. Relación del mecanismo acción – respuesta.	30
10. Acción permanente debido a cargas muertas.	34
11. Acción variable debido a cargas vivas.	34
12. Acción accidental como sismos.	35
13. Espectro de diseño sísmico para estructuras del grupo A.	45
14. Enlace de microondas Bucareli – Querétaro.	50
15. Puntos seleccionados para el radioenlace.	51
16. Localización sobre la carta topográfica (ubicación Bucareli – El Tejocote).	52
17. Localización sobre la carta topográfica (ubicación Cerro La Pingüica).	53
18. Perfil topográfico tramo Bucareli – El Tejocote.	56
19. Perfil topográfico tramo El Tejocote – La Pingüica.	58
20. Perfil topográfico tramo Bucareli – El Tejocote considerando la Primera Zona de Fresnel.	67
21. Piernas torre autosoportada (T-18).	71
22. Montante principal.	72
23. Montante secundario.	72
24. Ángulo estructural para torres autosoportadas.	73
25. Planta de la torre.	73
26. Elevación de la torre.	74

27. Vistas de un tornillo.	77
28. Área transversal.	78
29. Orientación de la torre.	79
30. Antena de microondas.	81
31. Línea de transmisión (Guía de onda).	82
32. Sistema de iluminación.	84
33. Vista de torre autosoportada desde su eje.	85
34. Estación repetidora.	87

## **TABLAS**

1. Matriz de torres autosoportadas.	29
2. Respuesta estructural y estados límite.	31
3. Factor de topografía local $F_T$ .	41
4. Zonas sísmicas de la República Mexicana.	45
5. Registro de datos tramo Bucareli – El Tejocote.	54
6. Registro de datos tramo El Tejocote – La Pingüica.	57
7. Bandas autorizadas actualmente.	64
8. Tensión en tornillos según normas ASTM.	77
9. Número de plataformas de descanso según la altura.	80

## **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo presento los estudios necesarios para determinar la ubicación geográfica en donde se debe instalar una torre de acero autosoportada que tendrá como función soportar un número determinado de antenas para enlazar vía microondas ciertas poblaciones, que de acuerdo a las políticas actuales, y cumpliendo con un compromiso social, se deban integrar a la red de telecomunicaciones, así mismo, calcularé la altura mínima necesaria de la torre para poder instalar las antenas, también a la altura requerida para poder obtener un radioenlace, librando cualquier obstáculo que pudiera interferir la señal.

Al no ser un trabajo sobre análisis de estructuras, sino sobre infraestructura, en la sección correspondiente al análisis y diseño de torres autosoportadas la presento desde un punto de vista general, es decir, solo menciono las fuerzas y las cargas que actúan sobre la estructura, que bien pueden ser aplicadas a cualquier tipo de torre autosoportada, al igual que el diseño de la cimentación en base a las normas establecidas para este tipo de estructuras; en tanto que la ingeniería para determinar el sitio en donde se instalará la estructura de acero lo hago en forma específica.

En el capítulo correspondiente a instalación de torres autosoportadas hago mención de todos los elementos estructurales que forman la torre de acero, así como los accesorios y elementos externos que deberá soportar la torre para lo cual fue diseñada.

Dadas las características establecidas, y en base a los estudios realizados en diversas poblaciones y de acuerdo al programa 2004-2006 de construcción de Teléfonos de México, propongo para este trabajo una población con menos de 500 habitantes cuyo proyecto se denomina Bucareli, población que elegí debido a su interés histórico y turístico. Esta localidad a pesar de que se encuentra incluida en recorridos turísticos del Estado de Querétaro, no cuenta con servicio telefónico. Es

una población de difícil acceso, enclavada en la sierra queretana, con una vía de comunicación de terracería muy estrecha y demasiado sinuosa, con acantilados muy profundos, y en tiempo de lluvias es imposible llegar a este lugar, por lo que la población queda incomunicada y sin posibilidad de ayuda en caso de contingencias graves.

Mi propósito es que el lector de este trabajo conozca el proceso completo de cómo se realiza una radiocomunicación por microondas vía radiofrecuencia sin entrar en el terreno de la ingeniería en telecomunicaciones, sino solo en lo que respecta y pueda interesar al Ingeniero Civil.

**CAPÍTULO 1**  
**ANTECEDENTES**

# CAPÍTULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1. NECESIDAD DE COMUNICACIÓN.

La necesidad de atender la comunicación en todas las poblaciones del país y la diversidad de la topografía de nuestro territorio, hace necesario crear una infraestructura de telecomunicaciones que permita los enlaces en los lugares que no es posible realizar tendidos de cable de fibra óptica o de cobre.

Los radioenlaces han sido la solución para estos casos, ya que utilizan como medio de transmisión el espacio libre y cubren grandes distancias, salvando obstáculos como zonas de agua muy grandes tales como lagos, lagunas e incluso el mar; zonas pantanosas, terrenos desérticos, zonas boscosas y regiones selváticas y montañosas.

El propósito de un sistema de radiocomunicación es convertir la información original proveniente de un equipo de radiofrecuencia a energía electromagnética y transportarla a una antena y radiarla y, otro sistema similar recibe la información y la convierte de nuevo a su forma original logrando así el radioenlace.

Para atender las telecomunicaciones en las diversas poblaciones y ciudades de la República Mexicana existen diversos sistemas de telefonía para realizar un enlace.

La mayoría de los enlaces se establecen en las áreas urbanas utilizando un par de hilos de cobre, desde el domicilio del abonado hasta la central telefónica y de ésta a través de otro par de hilos de cobre hasta el abonado distante dentro de la misma ciudad.

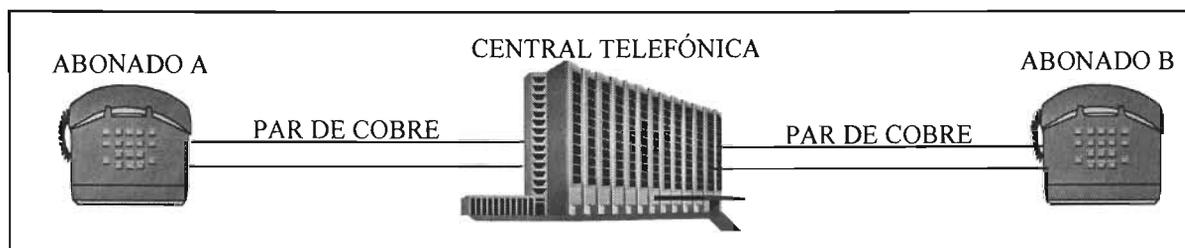


Figura 1. Enlace urbano o local

Además del caso anterior, existen enlaces entre áreas interurbanas en los que la central telefónica local se conecta a una central telefónica de larga distancia para su transmisión distante a otra población.

Para este tipo de enlaces interurbanos o de larga distancia se pueden realizar por un medio de transmisión de fibra óptica, por radio frecuencia (microondas) e incluso por vía satélite.

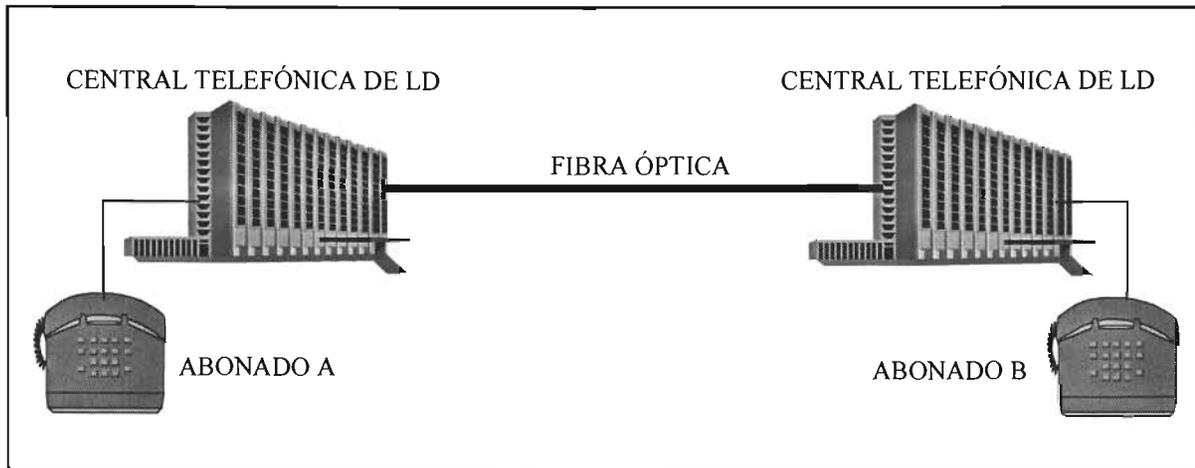


Figura 2. Enlace interurbano o de larga distancia por fibra óptica

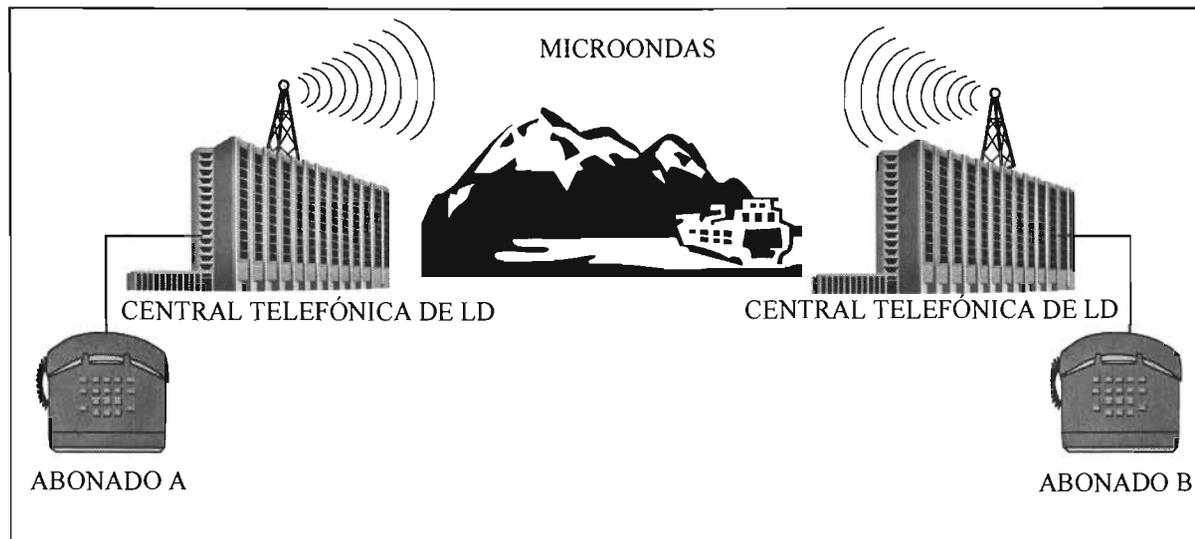


Figura 3. Enlace interurbano o de larga distancia por radiofrecuencia

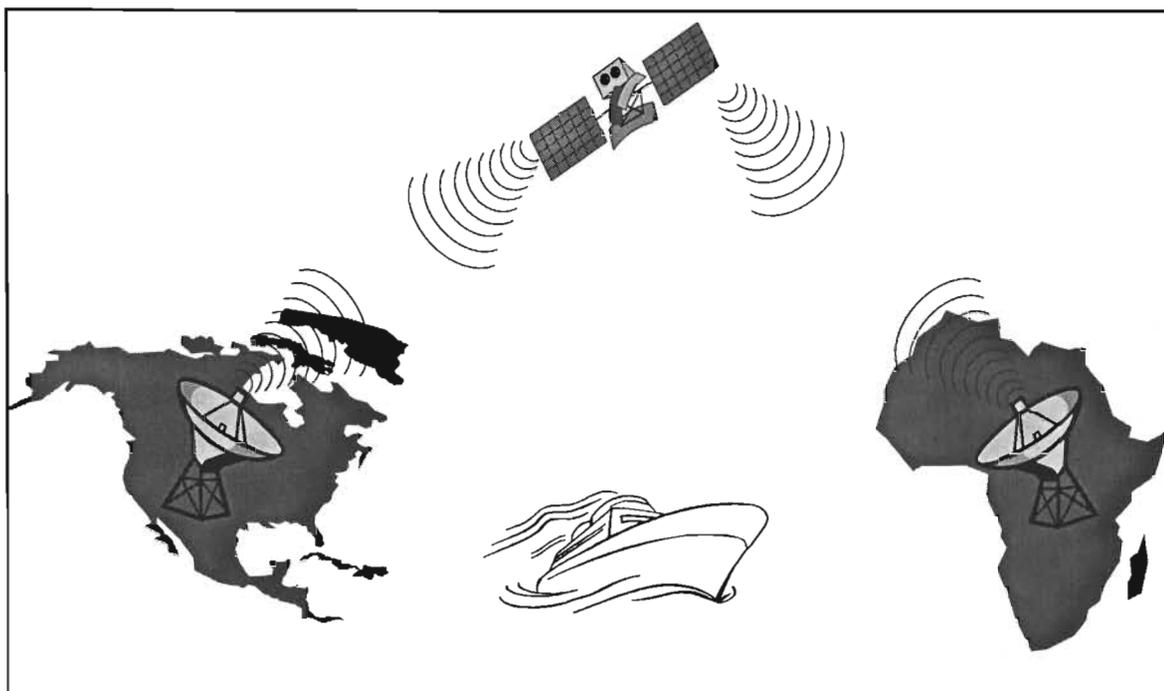


Figura 4. Enlaces interurbanos o de larga distancia vía satélite.

## 1.2. ESTUDIO SOCIOECONÓMICO.

Como resultado del desarrollo económico que se ha generado en el país en las últimas décadas, la necesidad de manejar e intercambiar grandes volúmenes de información ha impulsado la creación de diversos sistemas de comunicación que pueden ser enlaces muy sencillos o bien pueden ser enlaces muy sofisticados y complejos, dependiendo de los recursos y necesidades de las empresas telefónicas.

Para el caso de la telefonía rural la cual consiste en el servicio que se presta en poblaciones con un número de entre 100 a 500 habitantes de acuerdo al decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de Diciembre de 2002, el cual dice “se considera prioritario implementar el servicio telefónico básico en comunidades rurales de entre 100 a 500 habitantes para favorecer el desarrollo rural y fortalecer la integración social y económica de las comunidades en el Territorio Nacional”, y el número de habitantes se tomará de los últimos resultados

definitivos del XII Censo General de Población y Vivienda 2000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

El objetivo de incrementar la cobertura y penetración de la telefonía rural, es abatir el aislamiento de numerosas poblaciones y permitir la integración con el resto del país, ampliar las oportunidades de desarrollo y fortalecer la integración social y económica.

En la empresa telefónica, se realizan programas de telefonía rural con pronósticos a cuatro años, es decir, se determinan y se ubican poblaciones o comunidades con la cantidad de habitantes requeridos por las políticas actuales que aún no cuentan con servicio telefónico, se enlistan y se realiza un estudio socioeconómico a cada población para definir en cuáles poblaciones se realizará una inversión para la compra de equipo telefónico y para construcción de infraestructura.

No todas las poblaciones enlistadas serán integradas a la red de telecomunicaciones, ya que deberán reunir una serie de características como número de habitantes principalmente, número de viviendas, tipo de viviendas, infraestructura existente en la localidad como iglesias, escuelas, tiendas, etc.; localización geográfica, vías de comunicación en la zona y dificultad para acceder a pueblos circunvecinos.

Otros factores a considerar son, el crecimiento y desarrollo potencial de las poblaciones en estudio, debido a la posible creación de industrias en la zona o en las cercanías; o asentamientos agrícolas y ganaderos de importancia o de cualquier otro tipo que traiga beneficios a la población como también pueden ser recursos turísticos ya sean naturales o creados por la mano del hombre, que por rescate o por remodelación atraiga a cierta cantidad de visitantes que también contribuyan al desarrollo y al beneficio de la comunidad.

### **1.3. INTERESES POLÍTICOS.**

El programa de telefonía rural es uno de los instrumentos de política social mas importantes de la presente administración al llevar el servicio telefónico al

mayor número de poblaciones, para ello se cuenta con tecnología de punta adecuada a las condiciones orográficas de cada comunidad, a fin de comunicar a las comunidades mas alejadas y de difícil acceso, así mismo el servicio telefónico rural ha adquirido gran importancia en las acciones de protección civil que sirven para auxiliar a la población en casos de contingencias derivadas de fenómenos naturales.

En lo que respecta al servicio telefónico de larga distancia, también es promovido su desarrollo por el Gobierno Federal, y aunque en la actualidad el tráfico se cursa principalmente por fibra óptica, existen enlaces vía microondas para enlazar y proteger con sistemas redundantes a las grandes ciudades.

Con el Programa de Telefonía Rural de esta Administración, concesionada a Teléfonos de México, S.A. de C.V., al finalizar el período se habrán comunicado mas de 31,000 localidades de entre 100 y 500 habitantes, las cuales contarán con al menos un aparato telefónico. Lo anterior, en beneficio de más de 10 millones de personas en todo el territorio nacional.

El cumplimiento de este programa habrá permitido no sólo la comunicación de estas localidades, sino también el ampliar las oportunidades de desarrollo para muchas poblaciones que ahora cuentan con teléfonos cerca de escuelas rurales, hospitales o tiendas de abasto popular.

También, aprovechando las tecnologías del Programa de Telefonía Rural, se habrá logrado apoyar las distintas emergencias causadas por los fenómenos meteorológicos que ocasionan severos daños en gran parte del territorio nacional, de esta manera, se habrá consolidado el uso de las telecomunicaciones para el pronto restablecimiento de las zonas afectadas, auxiliando a la población y a los programas interinstitucionales de protección civil durante el estado de emergencia.

Así, se cuenta con una red de comunicación integrada que facilita las tareas de monitoreo volcánico y de protección civil, aprovechando la telefonía celular y satelital y la participación de los concesionarios de estos servicios.

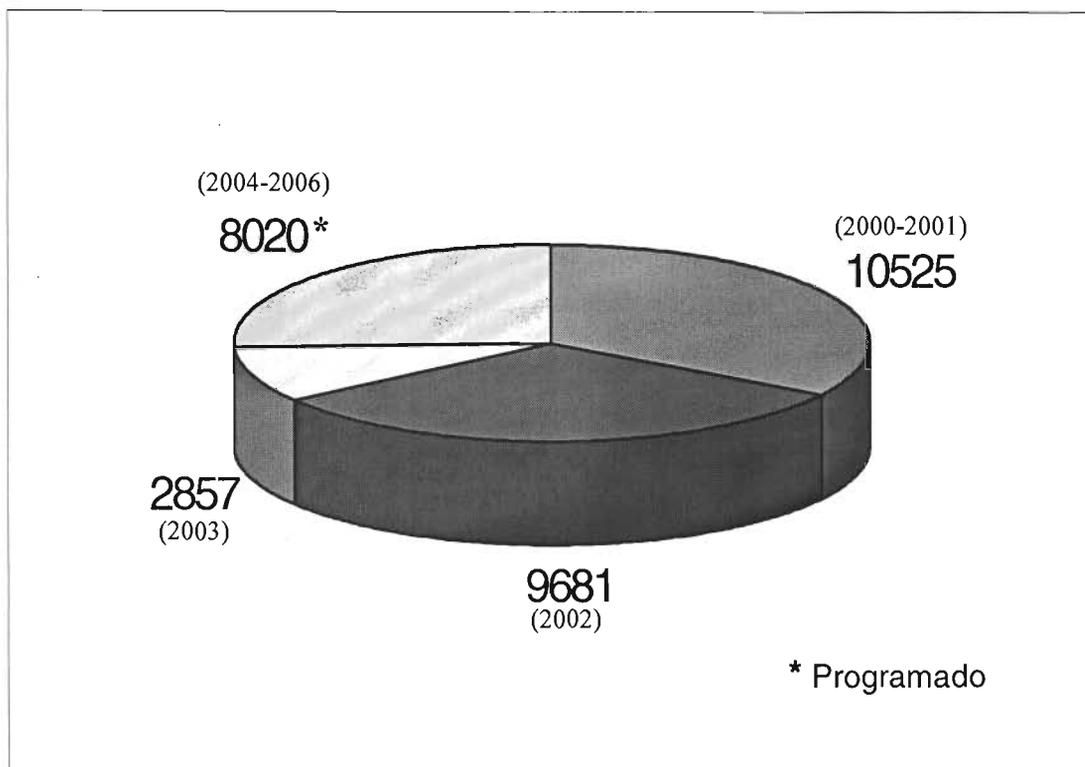


Figura 5. Localidades atendidas de entre 100 y 500 habitantes.

Para consolidar el Programa de Telefonía Rural, se llevarán a cabo las acciones siguientes:

1. Se dará cumplimiento a la meta sectorial establecida, mediante la conclusión del Programa de Telefonía Rural, para llevar este servicio a más de 31,000 localidades de la República Mexicana de entre 100 y 500 habitantes originalmente previstas, (vease las figuras 5 y 6).
2. Se analizará la factibilidad de introducir nuevas tecnologías para llevar la telefonía a las poblaciones de más difícil acceso, asimismo se instrumentarán mecanismos de concertación para utilizar la infraestructura de los concesionarios de telefonía celular.

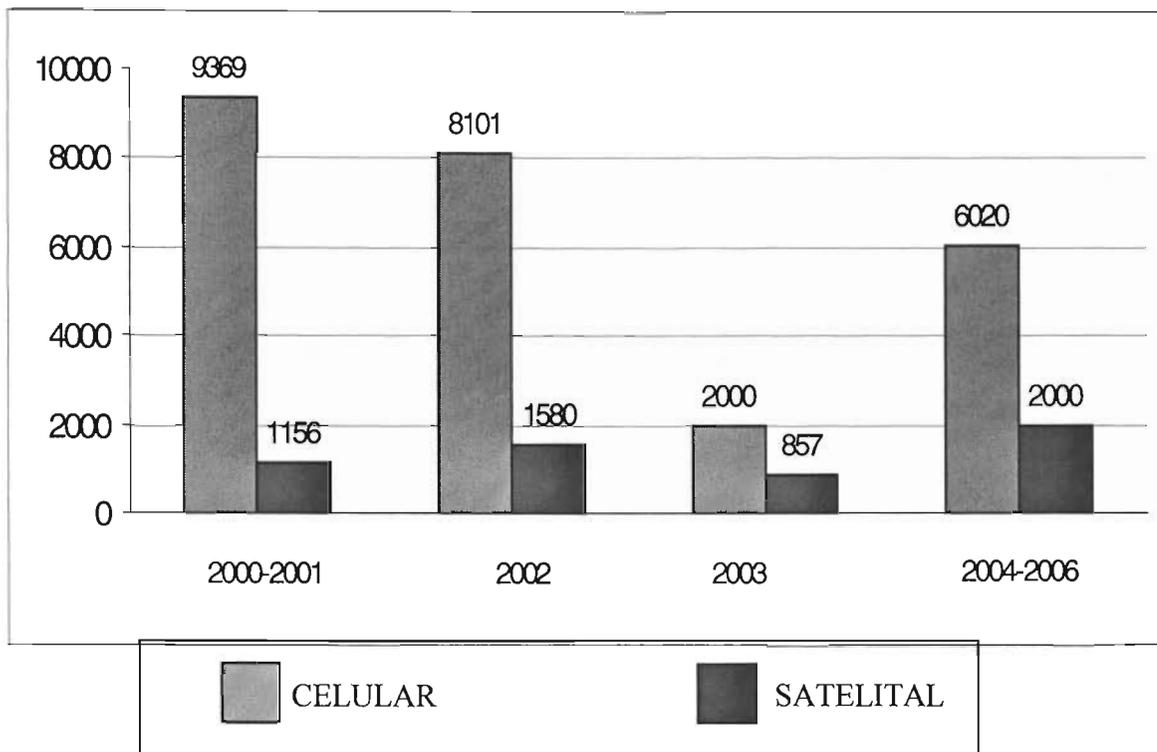


Figura 6. Tecnología utilizada en la atención de poblaciones rurales.

3. Se coordinarán trabajos con Telecomunicaciones de México, concesionarios de servicios de telecomunicaciones y otros participantes en esta industria, para la instalación de terminales de telefonía rural, aprovechando su infraestructura y experiencia técnica.
4. Se continuarán los trabajos de verificación de cobertura, instalación, operación y mantenimiento de los equipos, así como de las terminales instaladas, con el fin de supervisar el cumplimiento de los compromisos contraídos por los concesionarios de servicios públicos de telecomunicaciones en materia de telefonía rural.
5. Se apoyará a los concesionarios participantes en el programa de telefonía rural para reforzar sus sistemas de pago y atención a comisionistas, a través de la infraestructura telegráfica, postal y tiendas rurales de otros organismos públicos en el país, con el fin de garantizar la continuidad en la prestación de este servicio.

6. Se mantendrá el seguimiento permanente y se atenderán las contingencias que se presenten en el marco de la normatividad establecida para el Sistema Nacional de Protección Civil, coordinando la canalización de recursos técnicos y de infraestructura en el medio rural que requieran otras dependencias y entidades involucradas en su atención.
7. Se instrumentarán proyectos específicos de telefonía rural para ampliar la cobertura de este servicio y, en su caso, restaurar la comunicación en los estados afectados por contingencias naturales, en coordinación con otras dependencias y entidades federales y locales en materia de salud, educación y abasto. Lo anterior es con el fin de lograr la utilización racional de la infraestructura de comunicaciones y para continuar proporcionando el servicio en las poblaciones que resultaron afectadas.
8. Se dará un mayor impulso a la coordinación de acciones con los gobiernos estatales y municipales, así como a la estructura desconcentrada de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en cada entidad federativa, para optimizar la ejecución de los programas y la operación del servicio.

**CAPÍTULO 2**  
**GENERALIDADES**

## **CAPÍTULO 2**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1. FABRICACIÓN DEL ACERO.**

La materia prima que se utiliza para la fabricación del acero es el mineral de hierro, coque y caliza; el mineral de hierro presenta un color rojizo debido al óxido de hierro, el coque es el producto de la combustión del carbón mineral (grafito), es ligero, gris y lustroso. Para convertir el coque en carbón mineral se emplean baterizo de hierro donde el carbón se coloca eliminándole el gas y alquitrán, después es enfriado, secado y cribado para enviarlo a los altos hornos; la piedra caliza es carbonato de calcio de gran pureza que se emplea en la fundición de acero para eliminar sus impurezas.

Una vez en el alto horno, los tres componentes se funden a los  $1650^{\circ}\text{C}$ , que aviva el fuego y quema el coque, produciendo monóxido de carbono el cual produce más calor y extrae el oxígeno del mineral de hierro dejándolo puro. La alta temperatura funde también la caliza, que siendo menos densa flota en el crisol combinándose con las impurezas sólidas del mineral formando la escoria, misma que se extrae diez minutos antes de cada colada.

El primer producto de la fusión del hierro y el coque se conoce como arrabio, el cual se obtiene aproximadamente a los  $1650^{\circ}\text{C}$ .

Los hornos de hoyo abierto se cargan con 200 toneladas de arrabio líquido y también se introduce algo de chatarra para reciclarlo y completar la carga. La carga del horno está formada por una tercera parte de chatarra y dos terceras partes por arrabio. Se refina por calor producido al quemar gas natural o aceite diesel y alcanzar temperaturas mayores a los  $1650^{\circ}\text{C}$ .

Durante 10 horas se mantiene la mezcla en ebullición eliminando las impurezas y produciendo así el acero. Algunos otros elementos como silicio, manganeso, carbono, etc., son controlados en la proporción requerida para el acero a producir.

Cuando la colada alcanza las especificaciones y condiciones requeridas se agregan “ferroligas”, que son sustancias para hacer aleaciones con el hierro y dar propiedades especiales.

Después de alcanzar las condiciones de salida, la colada se “pica” con un explosivo detonado eléctricamente, permitiendo la salida del acero fundido en ollas de 275 toneladas en donde se vacía a los lingotes de 9 a 20 toneladas.

La laminación del lingote inicia con un molino desbastador, el lingote de acero calentado a  $1330^{\circ}\text{C}$  se hace pasar entre dos enormes rodillos arrancados por motores de 3500 H.P. convirtiéndolo en lupias de sección cuadrada o en planchones de sección rectangular. Ambos son la materia prima para obtener placa laminada, perfiles laminados, rieles, varilla corrugada, alambrón, etc.

Existen dos procesos para el laminado del acero: el laminado en caliente y el laminado en frío.

El laminado en caliente es el proceso más común de laminado y consiste en calentar la lupia (o planchón) a una temperatura que permita el comportamiento plástico del material para así extruirlo en los “castillos” de laminado y obtener las secciones laminadas deseadas.

El laminado en frío es un proceso que permite obtener secciones con un punto de fluencia más elevado, al extruir el material a temperatura mucho mas baja que la del laminado en caliente.

## **2.2. CLASIFICACIÓN DEL ACERO.**

Los diferentes tipos de acero se agrupan en cinco clases principales:

- a) Aceros al carbono. Más del 90% de todos los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1.65% de manganeso, el 0.60% de silicio y el 0.60% de cobre. Entre los productos fabricados con aceros al carbono figuran la mayor parte de las estructuras de construcción de acero, máquinas, carrocerías de automóvil, cascos de buques, etc.

- b) Aceros aleados. Estos aceros contienen una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono normales. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes y ejes de motores, cuchillos de corte, etc.
- c) Aceros de baja aleación ultraresistentes. Los aceros de baja aleación son más baratos que los aceros aleados convencionales ya que contienen cantidades menores de los costosos elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono. Por ejemplo, los vagones de mercancías fabricados con aceros de baja aleación pueden transportar cargas más grandes porque sus paredes son más delgadas que lo que sería necesario en caso de emplear acero al carbono. Además, como los vagones de acero de baja aleación pesan menos, las cargas pueden ser más pesadas. En la actualidad se construyen muchos edificios con estructuras de aceros de baja aleación. Las vigas pueden ser más delgadas sin disminuir su resistencia, logrando un mayor espacio interior en los edificios.
- d) Aceros inoxidables. Los aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación, que los mantienen brillantes y resistentes a la herrumbre y oxidación a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases corrosivos. Algunos aceros inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas. Debido a sus superficies brillantes, en arquitectura se emplean muchas veces con fines decorativos. El acero inoxidable se utiliza para las tuberías, tanques de refinerías de petróleo o plantas químicas, para los fuselajes de los aviones, para cápsulas espaciales, etc.
- e) Aceros de herramientas. Estos aceros se utilizan para fabricar muchos tipos de herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas empleadas en diversas operaciones de fabricación. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación, que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad.

### **2.3. CARACTERÍSTICAS DEL ACERO.**

Entre las principales características que presenta el acero como elemento estructural son las siguientes:

- a) Alta resistencia. La alta resistencia del acero por unidad de peso, permite estructuras relativamente livianas, lo cual es de gran importancia en la construcción de puentes, torres de telecomunicaciones, edificios altos y estructuras cimentadas en suelos blandos.
- b) Homogeneidad. Las propiedades del acero no se alteran con el tiempo, ni varían con la localización en los elementos estructurales.
- c) Elasticidad. El acero es el material que más se acerca a un comportamiento linealmente elástico (Ley de Hooke) hasta alcanzar esfuerzos considerables.
- d) Precisión dimensional. Los perfiles laminados están fabricados bajo estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.
- e) Ductilidad. El acero permite soportar grandes deformaciones sin falla, alcanzando altos esfuerzos en tensión, ayudando a que las fallas sean evidentes.
- f) Tenacidad. El acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).
- g) Facilidad de unión con otros miembros. El acero en perfiles se puede conectar fácilmente a través de remaches, tornillos o soldadura con otros perfiles.
- h) Rapidez de montaje. La velocidad de construcción en acero es muy superior al resto de los materiales.
- i) Disponibilidad de secciones y tamaños. El acero se encuentra disponible en perfiles para optimizar su uso en gran cantidad de tamaños y formas.
- j) Costo de recuperación. Las estructuras de acero de desecho, tienen un costo de recuperación en el peor de los casos como chatarra de acero.
- k) Reciclable. El acero es un material 100 % reciclable además de ser degradable por lo que no contamina.
- l) Permite ampliaciones fácilmente. El acero permite modificaciones y/o ampliaciones en proyectos de manera relativamente sencilla.

m) Se pueden prefabricar estructuras. El acero permite realizar la mayor parte posible de una estructura en taller y la mínima en obra consiguiendo mayor exactitud.

Dentro de sus características, el acero presenta algunas desventajas importantes:

- a) Corrosión. El acero expuesto a intemperie sufre corrosión por lo que deben recubrirse siempre con esmaltes alquidáticos (primarios anticorrosivos) exceptuando a los aceros especiales como el inoxidable.
- b) Calor, fuego. En el caso de incendios, el calor se propaga rápidamente por las estructuras haciendo disminuir su resistencia hasta alcanzar temperaturas donde el acero se comporta plásticamente, debiendo protegerse con recubrimientos aislantes del calor y del fuego (retardantes) como mortero, concreto, asbesto, etc.
- c) Pandeo elástico. El empleo de perfiles esbeltos sujetos a compresión, los hace susceptibles al pandeo elástico, por lo que en ocasiones no son económicas las columnas de acero.
- d) Fatiga. La resistencia del acero (así como de cualquier material), puede disminuir cuando se somete a un gran número de inversiones de carga o a cambios frecuentes de magnitud de esfuerzos a tensión.

A mayor resistencia de acero menor soldabilidad y más frágil, debido a su alto contenido de carbono. La relación esfuerzo – deformación de una barra de acero al bajo carbono (A-36) sujeta a tensión con sección circular, se muestra en la figura 7.

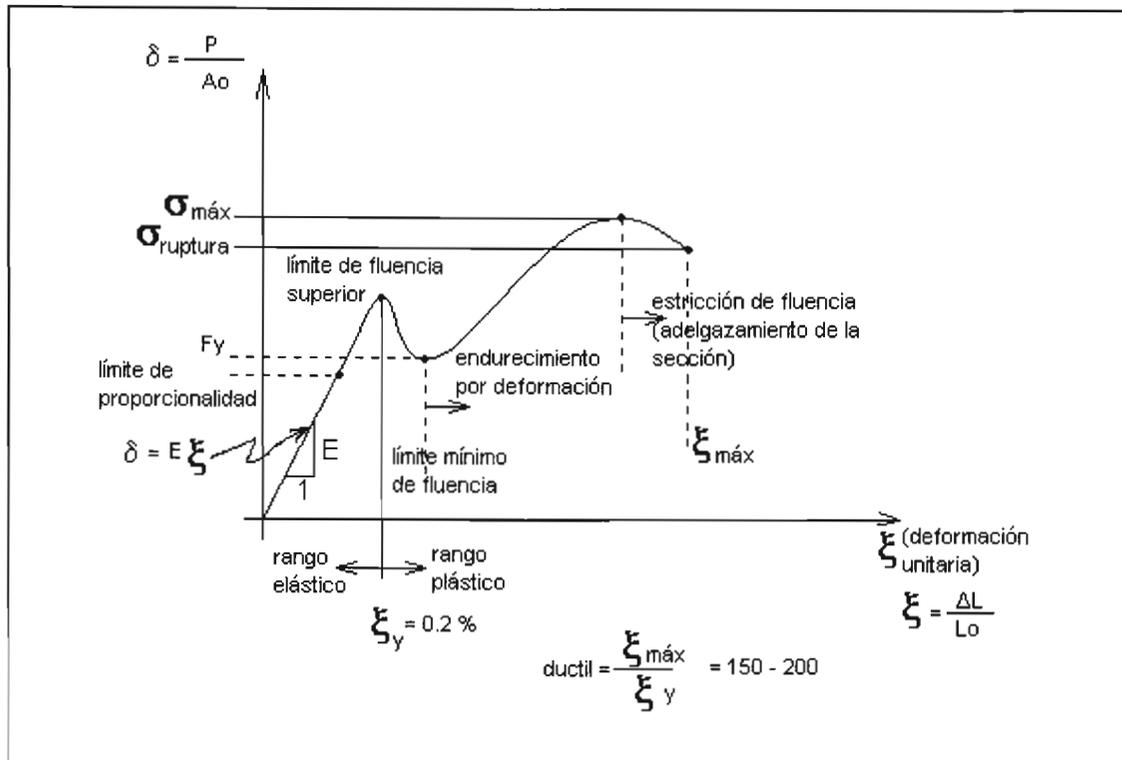


Figura 7. Gráfica esfuerzo – deformación unitaria del acero tipo A-36

El diagrama esfuerzo – deformación unitaria indica la rigidez de un material. El rango elástico de un material es el rango de esfuerzos, dentro del cual el material permanece elástico, es decir, regresa a su forma original después de descargarlo. En el rango elástico, los esfuerzos son menores que el punto de fluencia.

Cuando los esfuerzos exceden el punto de fluencia, tiene lugar un flujo plástico, y el material no vuelve a recuperar su forma original. Este rango de esfuerzos se llama rango plástico.

## 2.4. PERFILES DE ACERO.

En el proceso de fabricación del acero se obtiene de la laminación placas de anchos y espesores variables como barras, tubos y diversos perfiles estructurales entre los cuales tenemos los mas comunes (ver figura 8).

- a) Perfil W o IR. Es el perfil estructural que se usa con mayor frecuencia. Este perfil es doblemente simétrico (tanto con respecto al eje de las "X" como para el eje de las "Y"), que consiste en dos patines de forma rectangular conectados por una placa de alma también rectangular. Las caras del patín son paralelas con la distancia interior entre patines para la mayoría de los grupos, con una dimensión constante.
- b) Perfil S o IE. Es un perfil doblemente simétrico producido de acuerdo con las dimensiones adoptadas en 1896 y que se conocían anteriormente como vigas I o vigas American Standard. Hay tres diferencias esenciales entre los perfiles S y W: el ancho del patín del perfil S es menor; la cara interna del patín tiene una pendiente de aproximadamente 16.7°; el peralte teórico es el mismo que el peralte nominal.
- c) Perfil M. Es un perfil doblemente simétrico que no se clasifican como perfil W o S. Existen unos 20 perfiles ligeros, clasificados como perfiles M.
- d) Perfil C o CE. Es un perfil en canal, producido de acuerdo con estándares dimensionales adoptados en 1986. La pendiente interna del patín es la misma que la del perfil S.
- e) Perfil MC. Es un perfil en canal que no se clasifican como perfil C. Se conocen como canales diversos o para construcción de barcos.
- f) Perfil L o LD y LI. Es un perfil angular de lados iguales o desiguales. Todos los angulares tienen paralelas las caras de los lados. Las dimensiones de los lados del angular pueden tener una variación de mas-menos 1 mm en el ancho.
- g) Perfil T o TR. Las tes estructurales son miembros estructurales que se obtienen cortando perfiles W (para WT). S (para ST), o M (para MT). Por lo

general se hace el corte de tal modo que se produce un perfil con área equivalente a la mitad del área de la sección original.

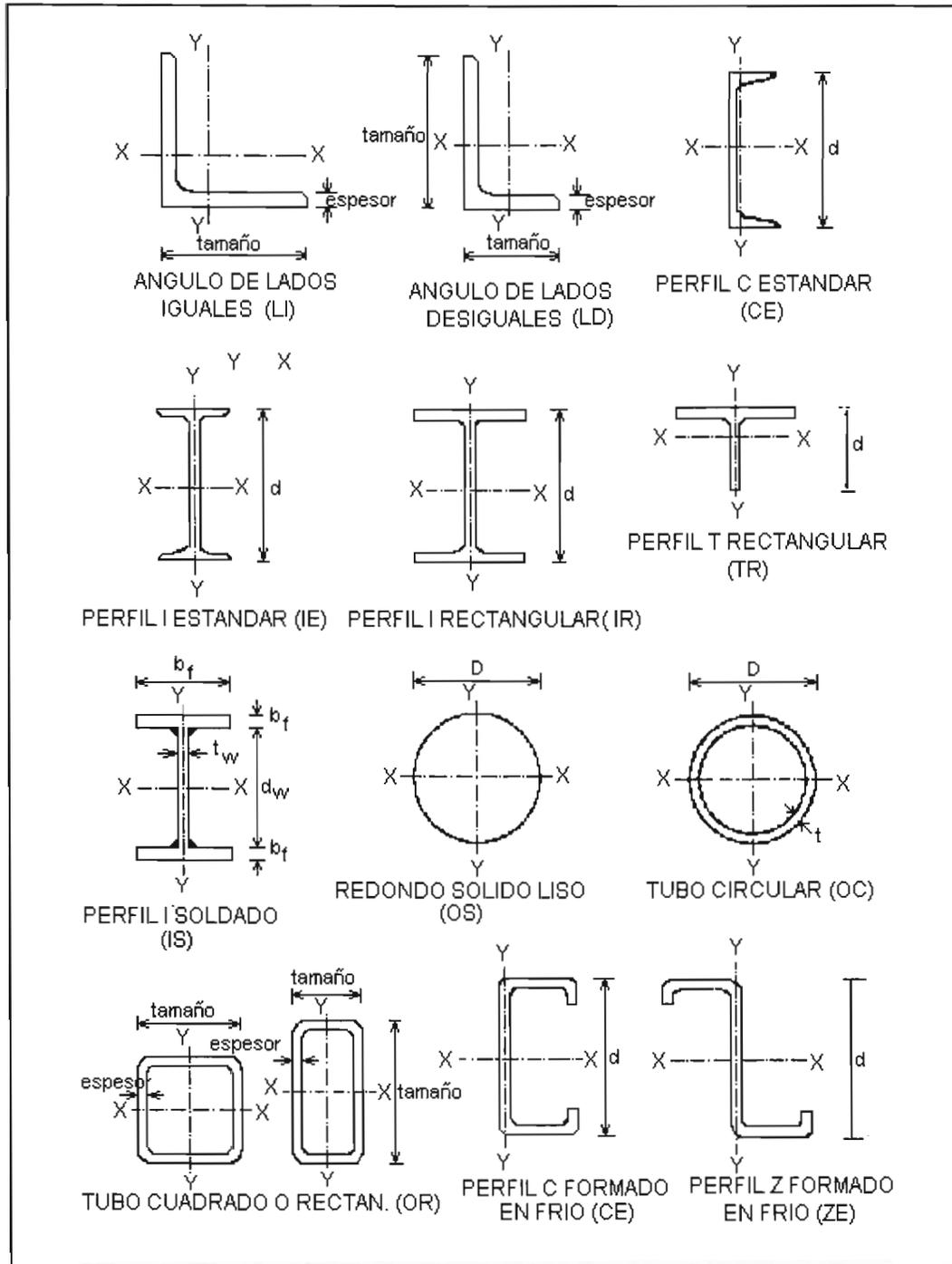


Figura 8. Perfiles de acero (designaciones IMCA)

## 2.5. GALVANIZADO.

El metal más utilizado en toda obra es el acero, sin embargo, este metal presenta un grave problema, si se expone a la atmósfera sin ninguna protección se oxida, dejando en su lugar un material considerablemente débil.

La mejor manera de prevenir la corrosión del acero, es protegerlo con una capa de zinc mediante el proceso de galvanizado por inmersión en caliente.

Este Proceso consta de cinco etapas:

- 1) Desengrase. Las piezas se someten a desengrase en soluciones alcalinas o un agente desengrasante eliminador de grasa, polvo y suciedad.
- 2) Decapado. En esta etapa se eliminan los óxidos formados, a fin de obtener una superficie químicamente limpia. Generalmente el decapado se realiza en una solución de ácido clorhídrico o ácido sulfúrico.
- 3) Uso de flux. Es una sal compuesta con cloruro de zinc y amonio, protege la pieza de la oxidación después del decapado, además de permitirle al zinc deslizarse sobre el acero.
- 4) Galvanización. Esta operación se realiza sumergiendo la pieza en un baño de zinc fundido a 450° C de temperatura, aproximadamente (el espesor del recubrimiento es proporcional al tiempo de inmersión).
- 5) Inspección. Las piezas se someten a inspección a fin de verificar que cumplan con las especificaciones solicitadas por el cliente (espesor del recubrimiento).

Las piezas pequeñas, tales como los tornillos, tuercas, arandelas y clavos se galvanizan normalmente en cestas de acero perforadas, que se someten a un proceso de centrifugación a alta velocidad inmediatamente después de su extracción del baño de zinc y después se enfrían en agua.

Mediante la centrifugación se consigue escurrir completamente el zinc retenido entre las piezas y limpiar el zinc sobrante de su superficie, con lo que se consigue una mejora sustancial del aspecto y uniformidad del recubrimiento. En el caso particular de los tornillos, la centrifugación posibilita también que las roscas

queden limpias de zinc y puedan acoplarse con sus correspondientes tuercas sin mayores problemas.

Después de galvanizados, los tornillos experimentan un aumento de diámetro correspondiente al espesor del recubrimiento. Las tuercas, sin embargo, se galvanizan normalmente antes de mecanizar su rosca y, una vez galvanizadas, se mecaniza la rosca a sobremedida para compensar el aumento de diámetro que experimenta la rosca del tornillo.

Una vez montadas, las roscas de las tuercas quedan protegidas por el zinc del recubrimiento del tornillo.

Los tornillos de alta resistencia pueden utilizarse para los tres tipos de uniones siguientes:

- a)** Uniones en las que los tornillos están solicitados normalmente a su eje por cortadura y aplastamiento.
- b)** Uniones con tornillos pretensados, en las que los esfuerzos se transmiten normalmente al eje del tornillo por rozamiento entre las superficies en contacto de las piezas a unir.
- c)** Uniones en las que los tornillos están solicitados en la dirección de su eje.

En estructuras sometidas a cargas dinámicas, y sollicitaciones variables (viento, oleaje, etc.), las uniones han de trabajar por rozamiento y los tornillos han de estar perfectamente pretensados.

Existe un método de doble protección frente a la corrosión y es conocido como sistema dúplex el cual consiste en un recubrimiento galvanizado y un revestimiento de pintura, los cuales se complementan entre sí.

Los sistemas dúplex a base de una o varias capas de pintura sobre los recubrimientos galvanizados se utilizan generalmente en los casos en que es necesaria una protección frente a la corrosión muy eficaz.

Los recubrimientos galvanizados tienen un aspecto plateado o gris metálico. Mediante la pintura pueden obtenerse toda clase de coloraciones.

La composición de las pinturas tiene una gran influencia sobre las propiedades de los sistemas dúplex, en especial con relación a la adherencia del

recubrimiento de pintura. Como regla general puede decirse que las pinturas de base termoplásticas como las acrílicas, de PVC y PVC-acrílicas, son más compatibles con los diferentes estados superficiales de los recubrimientos de zinc que las pinturas de dos componentes a base de resinas epóxicas o poliuretano. Estas últimas requieren una preparación superficial más cuidadosa, preferiblemente mediante chorreado ligero, pero, en contrapartida, proporcionan una mayor protección.

**CAPÍTULO 3**  
**PROYECTO ESTRUCTURAL**

## **CAPÍTULO 3**

### **PROYECTO ESTRUCTURAL**

#### **3.1. TIPOS DE TORRES.**

Un medio de transmisión es un medio físico que se utiliza para transportar información de un lugar a otro, y la distancia de transporte puede ser tan corta, como unos cuantos metros o propagarse hasta 120 kilómetros en condiciones óptimas.

El medio de transmisión para cursar tráfico de telecomunicaciones analógicas y digitales de baja capacidad, alta capacidad y de larga distancia puede ser por cable ya sea vía fibra óptica o por un par de alambres de cobre, o puede ser por radio enlace electromagnético por microondas.

Como los enlaces por radio se transmiten en línea recta, es necesario instalar antenas para microondas llamadas platos o parabólicas en lugares altos como en las azoteas de edificios y en cimas de montañas, en ocasiones en terreno llano.

El objetivo de instalar torres de acero es la de soportar un cierto número de antenas parabólicas y de otros tipos de antenas, así como los accesorios necesarios para la instalación de dichas antenas y la protección del equipo de radiofrecuencia.

Una cadena de torres de antenas de microondas, normalmente se colocan a distancias de entre 35 y 55 kms con diferentes alturas de torres.

De acuerdo al estudio realizado para cada caso se determina el tipo de torre que se utilizará, de acuerdo a los siguientes tipos de torres:

- a) Torres autosoportadas. Son estructuras de sección triangular o cuadrada, en forma piramidal y en la parte superior prosigue una armadura de sección constante que se pueden sostener por sí mismas. Se instalan en terrenos de mínimas dimensiones.
- b) Torres arriostradas. Se llaman también torres atirantadas, y son estructuras metálicas triangulares de sección constante que requieren de arriostres o

cables de acero para soportarse en tres planos a  $120^\circ$  entre sí, es decir, necesitan retenidas en cada una de sus aristas y a diferentes alturas para mantenerse en pie y los dados de concreto armado interactúan en relación directa a su peso respecto al equilibrio que debe existir para contrarrestar los diferentes factores que tratan de desestabilizarla. No se recomienda su uso en regiones montañosas o de grandes pendientes debido a que las retenidas podrían resultar demasiado largas y por tanto costosas. Su desventaja es que el área que ocupa es demasiado grande. Normalmente se instalan en azoteas amplias o en grandes terrenos.

- c) Monopolos. Son estructuras de sección circular en tramos de 6 á 7.5 m, conformados en chapa rolada, soldada bajo atmósfera de gas inerte, la unión entre tramos se realiza mediante bridas abulonadas. Esta estructura surge de la necesidad de las operadoras telefónicas, ya que puede ser instalado sobre terrenos de reducidas dimensiones y su montaje es muy rápido con el uso de grúas. Su uso disminuye el impacto visual en comparación con otro tipos de torres por su versatilidad para adaptarse a pequeños espacios de terrenos. Su uso mas común es dentro de ciudades.
- d) Monopolos ecológicos. Son estructuras que reducen el impacto ambiental en la población al simular la corteza de cualquier árbol. Al instalar una torre de este tipo se realiza un estudio para determinar cual recubrimiento es el mas adecuado para la zona, para esto existen diversos modelos de árboles de acuerdo a la necesidad ambiental para lograr una armonía con el entorno. El material de las ramas es apto para evitar interferencias en las radiofrecuencias de las antenas.

### **3.2. TORRES AUTOSOPORTADAS.**

Se denomina torre autosoportada a la estructura metálica que se puede soportar o sostenerse por sí misma, es decir, no requiere de elementos externos para sostenerse (como arriostres o cables de acero).

Este tipo de estructuras tienen una ventaja ya que requiere un área o terreno mínimo para instalarse, lo que resulta muy importante cuando se tienen limitaciones en el terreno.

Los elementos de las torres están fabricados de acero estructural A-36, de diferentes medidas de acuerdo a las características de esfuerzos a los que serán sometidos.

Existen diversos tipos de torres autoportadas: de sección cuadrada y de sección triangular. Las torres de sección cuadrada por lo regular se instalan en las azoteas de los edificios de telecomunicaciones y su altura no rebasa los 20 metros; las torres de sección triangular se instalan en zonas montañosas ya que por su forma geométrica es más ligera al tener menor cantidad de elementos estructurales y permitir una gran altura, se han llegado a instalar torres de hasta 130 metros de altura.

Este tipo de estructuras son las más rígidas y las más sensibles a la torsión, por esta razón se utilizan cuando se trata de soportar cierto número de antenas parabólicas de gran superficie de hasta 6 metros de diámetro.

La estructura de una torre autoportada triangular está formada por tres piernas, cerramientos horizontales, cerramientos diagonales, cerramientos secundarios, placas de unión de cerramientos diagonales y secundarios, diafragmas y tornillería.

En la tabla 1 se resumen algunos modelos de torres autoportadas de hasta 60 metros de altura, las cuales cumplen con las diferentes exigencias de cargas gravitacionales, esfuerzos horizontales y condiciones de terreno en toda la República Mexicana, capaces de resistir velocidades de viento de hasta 240 Km/h en diferentes condiciones orográficas.

Para poder seleccionar un módulo de torre es necesario conocer su altura, la cantidad de antenas parabólicas a instalar y su ubicación, es decir, su velocidad regional ( $V_r$ ), factor topográfico (F.T.), categoría del terreno (C.T.) y altura sobre el nivel del mar (ASNM).

Para alturas mayores a las especificadas, se revisarán las características de las cargas.

Cabe hacer notar que cada fabricante de torres, genera su propio catálogo de modelos para cada caso que se tenga, por lo que siempre que se consulten varios catálogos de torres de diferentes proveedores, se verán diferentes nombres de modelos para el mismo tipo de torre. Es por esta razón que la empresa de telecomunicaciones cuando compra una torre simplemente la denomina torre tipo TM.

CRITERIOS DE DISEÑO					
TORRE MODELO	Vr (Km/hr)	FACTOR TOPOGRÁFICO K	CATEGORÍA DEL TERRENO	ASNM (mts)	ALTURA TORRE (m)
TM-1	140	1.0	3	> 1500	18 a 30
TM-2	140	1.0	3	> 1500	24 a 60
TM-3	140	1.0	2	< 1500	24 a 42
TM-4	140	1.2	2	> 1500	18 a 60
TM-5	140	1.2	2	> 1500	18 a 42
TM-6	160	1.1	3	> 1500	24 a 60
TM-7	160	1.1	3	< 1500	24 a 60
TM-8	160	1.2	2	< 1500	24 a 60
TM-9	180	1.1	2	> 1500	24 a 42
TM-10	180	1.2	2	< 1500	48 a 60
TM-11	180	1.2	2	< 1500	24 a 42
TM-12	220	1.1	3	< 1500	24 a 60
TM-13	220	1.2	3	< 1500	24 a 42
TM-14	220	1.2	2	< 1500	24 a 36
TM-15	220	1.2	2	< 1500	42 a 60
TM-16	220	1.1	2	< 1500	24 a 60
TM-17	240	1.2	2	< 1500	24 a 60

Tabla 1. Matriz de torres autosoportadas

### 3.3. FUERZAS GRAVITACIONALES.

Una estructura puede concebirse como un subsistema dentro del sistema principal constituido por la obra global.

La función de la estructura es absorber las cargas que se derivan del funcionamiento de la construcción.

El subsistema estructural debe soportar una serie de acciones externas que le ocasionan deformación, desplazamiento y en ocasiones daños, y todo esto constituye su respuesta a dichas acciones.

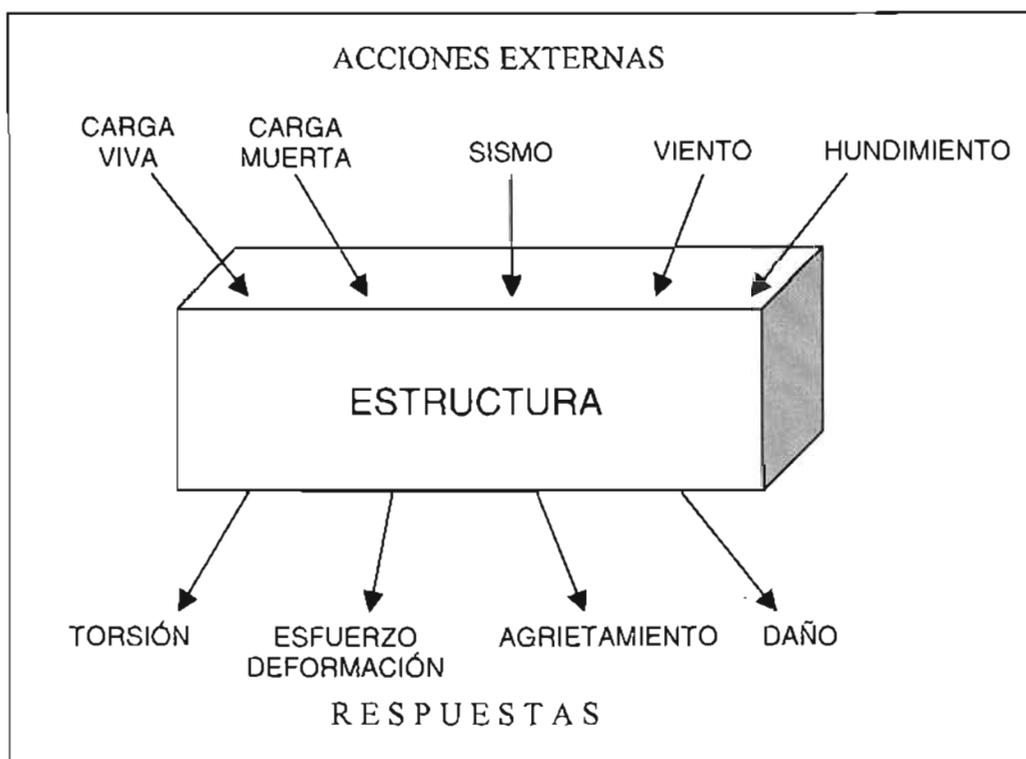


Figura 9. Relación del mecanismo acción – respuesta

Las acciones son lo que generalmente se denominan cargas (ver figura 9), pero este concepto es más generalizado e incluye a todos los agentes externos que inducen sobre la estructura fuerzas externas, esfuerzos y deformaciones, es decir, que además de todas las cargas propiamente dichas, se incluyen deformaciones impuestas como hundimientos de la cimentación, cambios volumétricos, efectos ambientales como viento, temperatura, corrosión, etc.

La respuesta de la estructura se representa por el conjunto de parámetros físicos que describen su comportamiento ante las acciones que le son aplicadas.

Para que la construcción cumpla con las funciones para las cuales está siendo proyectada, es necesario que la respuesta de la estructura se mantenga dentro de los límites permisibles (ver tabla 2).

<b>ESTADOS LÍMITE DE FALLA</b>	<b>ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO</b>
COLAPSO	TORSIÓN
INESTABILIDAD	DESPLAZAMIENTOS
FATIGA	VIBRACIONES
DAÑO IRREVERSIBLE	AGRIETAMIENTOS

Tabla 2. Respuesta estructural y estados límite

Debe definirse por tanto cuales son en cada caso los límites permisibles de la respuesta de la estructura. Estos límites dependerán del tipo de construcción y de su destino y están definidos para las estructuras mas comunes en los códigos de diseño.

El estado límite de una estructura es cualquier etapa de su comportamiento a partir de la cual se considera inaceptable. Los casos de estado límite que se pueden producir estan relacionados con la seguridad de la estructura y corresponden a situaciones en que la estructura sufre una falla total o parcial, o solamente

presenta daños que afectan su capacidad para resistir nuevas acciones.

La falla de una sección por fuerzas internas como cortante, flexión, torsión, carga axial o cualquier combinación de estos efectos, constituye un estado límite de falla, así como también la inestabilidad de la estructura o la falla por fatiga

El ingeniero debe procurar que no se presenten estados límite de falla debidos no solo a las acciones que ocurren durante la operación normal de la estructura, sino también a las acciones debidas a condiciones excepcionales.

El otro caso de estado límite, es el que debido a situaciones que sin poner en riesgo la seguridad de la estructura, afectan el correcto funcionamiento de la construcción. Estos son estados límite de servicio y comprenden las deflexiones, agrietamientos, vibraciones excesivas, así como el daño en elementos no estructurales de la construcción.

En general, el objetivo del diseño estructural deberá proporcionar seguridad ante la aparición de estados límite de falla para las acciones mas desfavorables que puedan presentarse durante la vida útil de la construcción y procurar que en condiciones normales de operación no se sobrepasen los estados límite de servicio.

Durante el diseño de una estructura es necesario considerar y determinar todas las acciones que puedan afectar a la estructura y que pudieran tener efectos negativos durante su utilización.

Existen diversas clasificaciones dependiendo del origen de las acciones como solicitaciones y efectos ambientales; así como también por la forma en que actúan las acciones en estáticas, dinámicas y de impacto.

El Reglamento de Construcción para el Distrito Federal<sup>1</sup>, distingue los siguientes tipos de acciones:

- a) Acciones permanentes. Son aquellas que actúan en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo. Están en esta categoría las cargas muertas debidas al peso propio de la estructura y al de los elementos no estructurales de la construcción; el empuje estático de los líquidos y tierras que tenga un carácter permanente; las deformaciones y los desplazamientos impuestos a la estructura, tales como los debidos al efecto del preesfuerzo, a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos y a la contracción por fraguado del concreto, (ver figura 10).
  
- b) Acciones variables. Son aquellas que actúan sobre la estructura con una intensidad variable con el tiempo, pero que alcanzan valores significativos durante lapsos grandes. Se incluyen en esta categoría las cargas vivas o sea

---

<sup>1</sup> RCDF 1993 (artículo 150, 151)

aquellas que se deben al funcionamiento propio de la construcción y que no tienen carácter permanente; los efectos de cambios de temperatura y los cambios volumétricos que tienen carácter variable con el tiempo, (ver figura 11).

c) Acciones accidentales. Son aquellas que no se deben al funcionamiento normal de la construcción y que pueden tomar valores significativos solo durante pequeñas fracciones de la vida útil de la estructura. Se incluyen en esta categoría acciones excepcionales como sismos, viento, oleaje y explosiones, (ver figura 12).

Las acciones se deben a fenómenos físicos y para poder evaluar su efecto en la estructura se requiere un modelo de dichas acciones. El modelo consiste generalmente en un sistema de fuerzas concentradas, lineales o uniformemente distribuidas que reproducen el efecto de las acciones. En otros casos el modelo está constituido por una serie de deformaciones impuestas.

Para el caso de acciones dinámicas, el modelo puede ser un sistema de fuerzas equivalentes o una excitación dinámica descrita por medio de una ley de variación con el tiempo de las deformaciones impuestas a la estructura.

De esta manera se puede modelar la carga viva sobre la estructura de una torre por ejemplo, como un sistema de cargas concentradas. Los modelos de acciones que se emplean para el diseño de una estructura a veces son simplificaciones burdas del fenómeno real que pueden conducir a errores importantes, por supuesto, aquí entra el criterio del diseñador para determinar las acciones que tienen una probabilidad no despreciable de aparecer durante la vida útil de la estructura.

La anterior clasificación está basada en la variación de la intensidad de las acciones en relación con el tiempo. Estrictamente, los tres tipos de acciones varían con el tiempo, aún las cargas permanentes. Así tenemos que la carga muerta varía con el tiempo debido a los cambios de humedad y al desgaste de los materiales por uso o por intemperismo.

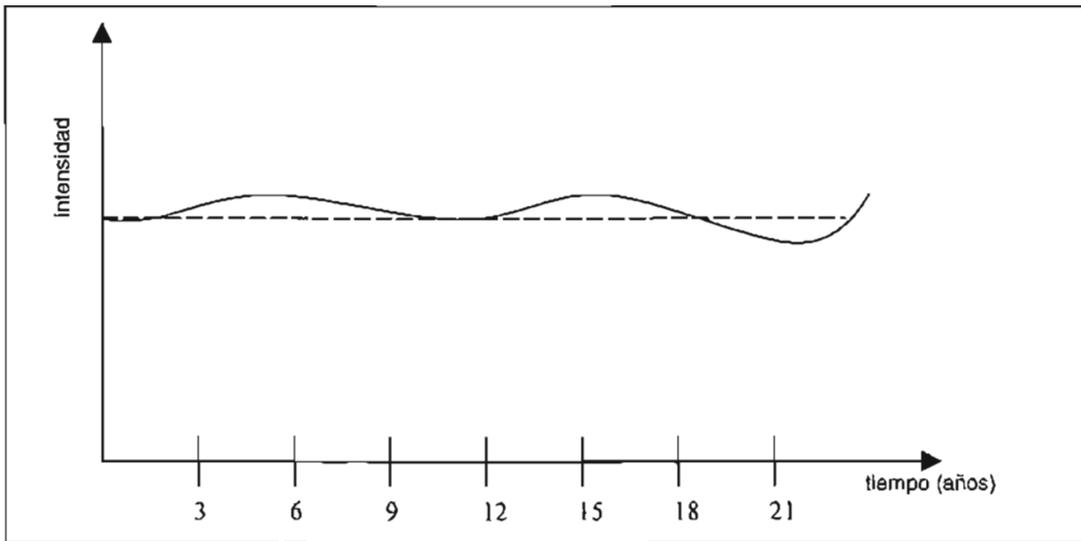


Figura 10. Acción permanente debido a cargas muertas

Las acciones variables modifican su intensidad de manera mas marcada con el tiempo, por ejemplo la carga viva en una estructura suele variar de manera muy significativa.

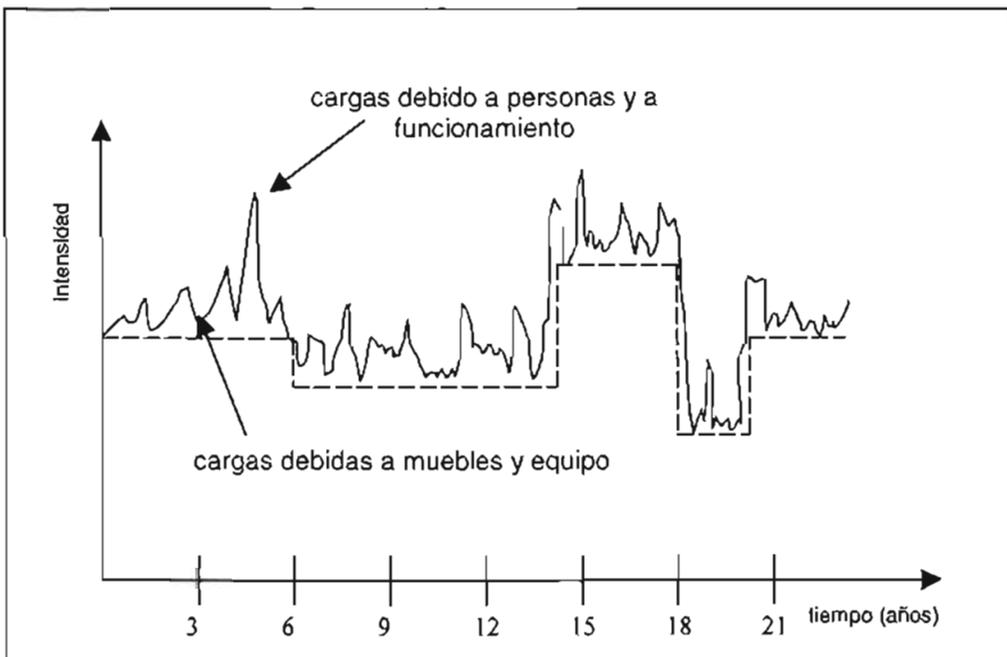


Figura 11. Acción variable debido a cargas vivas.

Esto se debe a que está compuesta por una parte semipermanente correspondiente al peso de muebles y equipo, la cual varía significativamente solo cuando hay cambios en el tipo de ocupación del inmueble y por otra porción debida al peso de personas y equipo móvil, que tiene variaciones continuas y significativas.

La intensidad de las acciones accidentales se representan por picos en lapsos muy cortos y espaciados en el tiempo, mientras que en el resto, la intensidad puede considerarse nula ya que no produce efectos significativos.

Esta variabilidad de las acciones accidentales con el tiempo es de gran importancia para definir la forma en que deben superponerse las distintas acciones cuando debe considerarse su efecto conjunto en el diseño de una estructura.

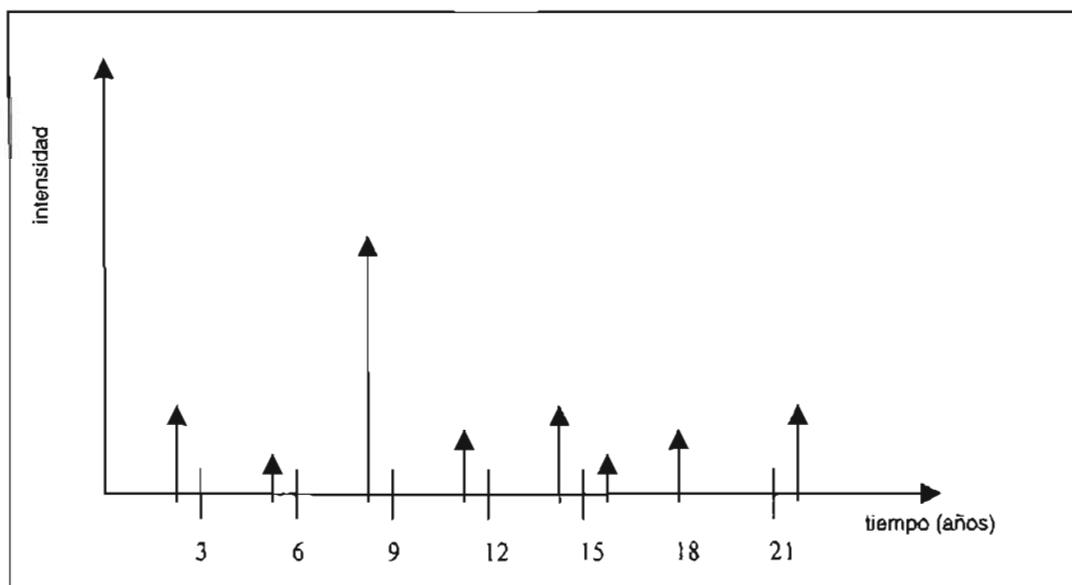


Figura 12. Acción accidental como sismos.

### **3.4. NORMAS Y CRITERIOS PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE TORRES AUTOSOPORTADAS.**

El ingeniero debe determinar de la manera mas precisa el valor de las cargas que soportará la estructura durante su vida útil y también determinar las combinaciones más desfavorables que de acuerdo a los reglamentos puedan presentarse.

Para el protocolo de recepción de una torre se deberá entregar una memoria de cálculo que deberá contener la siguiente información en el orden especificado:

#### **3.4.1 Descripción del proyecto.**

Como primer punto se deberá presentar una breve descripción de la estructura, señalando sus características principales, así como consideraciones a tomar para su diseño.

#### **3.4.2 Análisis de cargas.**

- Análisis de fuerzas gravitacionales.
  - Carga muerta. Antenas parabólicas, antenas celulares, feeders, cama guía de onda, escalera marina.

La carga muerta correspondiente a el peso de las antenas se tomará directamente de la información proporcionada por el fabricante.

- Carga viva. Personal para su instalación y mantenimiento. Se consideran 300 kg (3 personas de 100 kg cada una).

- Análisis de fuerzas de viento.

El procedimiento y criterio a seguir para la realización del diseño por viento será el que estipula el Manual de Diseño por viento emitido por la CFE edición 1993.

Las cargas de viento se calcularán por medio de un análisis dinámico. Los parámetros a considerar para el análisis por viento son los siguientes:

- a) Clasificación de la estructura.
  - Por su importancia, las torres están consideradas dentro del grupo A debido al alto grado de seguridad que requieren para su diseño.

- Por su respuesta ante la acción del viento. De acuerdo con la sensibilidad de la estructura ante los efectos de ráfagas de viento de corta duración y su correspondiente respuesta dinámica debido a su geometría, las torres de telecomunicaciones se clasifican en estructuras tipo 2.

b) Determinación de la velocidad de diseño  $V_D$ .

La velocidad de diseño es la velocidad a partir de la cual se calcularán los efectos del viento sobre la estructura o sobre cualquier componente de la misma. Se obtendrá en km/h a partir de la siguiente ecuación:

$$V_D = F_T F_\alpha V_R$$

donde:

$F_T$  = factor que depende de la topografía del sitio, (ver tabla 3).

$F_\alpha$  = factor que toma en cuenta el efecto combinado de las características de exposición locales, del tamaño de la construcción y de la variación de la velocidad del viento con la altura.

$V_R$  = velocidad regional que le corresponde al sitio donde se construirá la torre en km/hr, correspondiente a un período de recurrencia de 200 años.

c) Factor de exposición  $F_\alpha$

El factor de exposición se calcula con la siguiente expresión:

$$F_\alpha = F_c F_{rz}$$

donde:

$F_c$  = factor que toma en cuenta el tiempo en que la ráfaga del viento actúa de manera efectiva sobre la estructura de dimensiones dadas. Para todo tipo de torres se considera  $F_c = 1.00$ .

$F_{rz}$  = factor de rugosidad y altura que establece la variación de la velocidad del viento con la altura  $Z$ , en función de la categoría

del terreno y del tamaño de la estructura, a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Fr_z &= 1.56 (10/\delta)^\alpha & \text{si } Z \leq 10 \\ Fr_z &= 1.56 (10/\delta)^\alpha & \text{si } 10 < Z < \delta \\ Fr_z &= 1.56 & \text{si } Z \geq \delta \end{aligned}$$

Los coeficientes  $\delta$  y  $\alpha$  están en función de la categoría del terreno y de la clase de la estructura según su tamaño.

- d) Obtención de la presión dinámica de base  $q_z$

La presión que ejerce el viento se determinará con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0048 G V_D^2$$

donde:

$G$  = factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional determinado por la expresión:

$$G = 0.392 \Omega / 273 + \tau$$

donde:

$\Omega$  = presión barométrica.

$\tau$  = temperatura ambiental definida en el Manual de Diseño por viento<sup>2</sup>

$V_D$  = velocidad de diseño en km/hr.

- e) Determinación de las presiones en la dirección de viento  $p_z$

la presión total en la dirección del viento se calculará con la siguiente expresión:

$$P_z = F_g C_a q_z$$

---

<sup>2</sup> Tabla 1.7 Manual de Diseño de Obras Civiles CFE 1993

donde:

$F_g$  = factor de respuesta dinámica debida a ráfagas.

$C_a$  = coeficiente de arrastre adimensional que depende de la forma de la estructura.

$q_z$  = presión dinámica de base en la dirección del viento en  $\text{kg/m}^2$ .

Para calcular el factor de respuesta dinámica debido a ráfagas  $F_g$  deberán de tomarse las siguientes consideraciones:

- El coeficiente de amortiguamiento crítico " $\zeta$ " deberá considerarse con valor de 0.01 para torres autosoportadas.
- Deberá calcularse la frecuencia natural de vibrar de la estructura " $n_0$ ".
- La condición de carga para el cálculo de la frecuencia natural de vibrar comprende el peso propio de la estructura y la carga muerta aplicada a la torre (peso del equipo, y accesorios).

Para determinar el coeficiente de arrastre  $C_a$ , se deberá considerar lo siguiente:

- Para las torres se determinará solo una relación de solidez  $\Phi$  para cada tramo de la torre en estudio, considerando como área expuesta, la sumatoria de las áreas correspondientes a piernas, diagonales, montantes, celosías, escalera y en general, todo lo que represente un área de exposición sobre la cara de barlovento.

A partir de la relación de solidez  $\Phi$  obtenida, se asignará un coeficiente de arrastre  $C_a$  para cada tipo de sección: plana o circular.

Se calculará un coeficiente de arrastre  $C_a$  total que se utilizará en toda la sección considerada. Este coeficiente de arrastre se calculará con la siguiente ecuación:

$$C_{a\text{tramo}} = (A_{\text{piernas}} \times C_{a\text{piernas}} + A_{\text{planos}} \times C_{a\text{planos}}) / A_{\text{total expuesta}}$$

Donde  $A_{\text{planos}}$  incluye la suma de todas las áreas de elementos planos considerados en la torre: diagonales, celosía, etc.

- Para el caso de antenas parabólicas y celulares no existe en México una normatización para asignar coeficientes de arrastres para este tipo de equipos. Las fuerzas de viento se calcularán directamente a partir de las medidas experimentales tomadas por los fabricantes del equipo.

La velocidad considerada por el fabricante corresponde a 200 km/h, por lo que la conversión a la velocidad de diseño correspondiente en cada análisis deberá efectuarse con la siguiente ecuación:

$$\text{Fuerza en equipo} = (V_{\text{diseño}} / V_{\text{catálogo}})^2 \times \text{Fuerza de catálogo}$$

La velocidad de diseño a utilizar será la correspondiente a la altura a la que estarán las antenas.

f) Cálculo de fuerzas en la dirección del viento.

La fuerza total  $F$  sobre la estructura debido al flujo del viento, se expresa como la sumatoria de cada fuerza  $Z$  dada según la expresión:

$$F = \sum F_z = \sum P_z A_z$$

Para calcular las áreas de exposición deberán de tomarse las siguientes consideraciones:

- Las áreas serán calculadas para cada tramo definido por los montantes, separando el área total en área de miembros de sección transversal circular, y área de miembros de lados planos.
- Para el cálculo de áreas, únicamente se considerará la cara frontal de la estructura donde actúa directamente el viento, o sea en la cara de barlovento.

- El área total expuesta por tramo será la que se multiplicará por el  $Ca_{\text{tramo}}$  determinado en el punto anterior.

Sitios	Topografía	$F_T$
Protegidos	Base de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento.	0.8
	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores que 5%.	1.0
Expuestos	Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10%, valles abiertos y litorales planos.	1.1
	Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores que 10%, cañadas cerradas y valles que formen un embudo o cañon, islas.	1.2

Tabla 3. Factor de topografía local  $F_T$

- Análisis de fuerzas debidas a sismo.

El diseño sísmico se realizará conforme a lo estipulado en el Manual de Diseño por sismo<sup>3</sup>. Deberá presentarse el procedimiento de obtención del espectro de diseño, (ver figura 13 y tabla 4).

### 3.4.3 Análisis y diseño estructural de la torre autosoportada.

Con el gran avance que ha tenido la informática en la última década, se han desarrollado diversos programas computacionales para el análisis y diseño estructural, como el SAP, TRICALC, TOWER, STAAD, entre otros.

Para la realización del análisis se deberán incluir las siguientes consideraciones:

- Condiciones de apoyo.

En torres autosoportadas: articuladas en sus tres apoyos.

Herrajes: restringido en sus tres direcciones.

- Modelación, análisis y diseño de la estructura.

La torre se deberá diseñar como “estructura en el espacio”, y podrán liberarse los miembros diagonales y celosía para que trabajen como armaduras.

- Las fuerzas del viento se aplicarán puntual y perpendicularmente sobre los nodos de las piernas y montantes de la torre correspondientes a la cara frontal, en cada nivel considerado.
- Los miembros de la estructura se diseñarán conforme al Código del AISC.
- Para miembros diagonales y celosía en torres deberá revisarse que las longitudes a considerar en la relación de esbeltez  $KL/r$  sea la longitud real del elemento.
- El acero a utilizar para el diseño de la torre será tipo A-36.

### 3.4.4 Diseño de cimentación.

Se deberán incluir todos los datos y parámetros utilizados, así como la totalidad del procedimiento con las consideraciones correspondientes:

---

<sup>3</sup> Manual de Diseño de Obras Civiles CFE 1993.

- Mecánica de suelos
- Cálculo del peso de la cimentación.
- Revisión por volteo.
- Cálculo del momento actuante.
- Cálculo del momento resistente.
- Revisión por capacidad de carga del terreno.
- Diseño por flexión.
- Revisión por cortante.

Las consideraciones generales para el diseño de la cimentación son las siguientes:

- Se utilizará concreto clase 1  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  como mínimo.
- El acero de refuerzo será  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .
- El peralte mínimo total para la losa de cimentación deberá ser de 30 cm. y el recubrimiento de 5 cm.
- El armado del lecho superior de la zapata puede calcularse con acero mínimo por flexión:  $(0.7 \sqrt{f'c} / f_y) bd$ .

#### 3.4.5 Criterios para el análisis y diseño de torres.

- Se deberán considerar en el análisis de la estructura un total de 4 antenas parabólicas: 2 de 0.60 m. y 2 de 1.80 m. de diámetro .
- La ubicación de antenas de microondas se supondrá de la siguiente manera: una parabólica de 1.80 m. y otra de 0.60 m. de diámetro en la cúspide, y las dos restantes a 4.0 m. y 5.0 m. por debajo de la altura máxima de la torre.
- Las antenas parabólicas de 1.80 m. de diámetro se considerarán de frente a la acción del viento, mientras que para las de 0.60 m. de diámetro se supondrán con una posición de  $90^\circ$  .
- Se considerarán además 15 antenas celulares en cada torre autosoportada. Para el cálculo de fuerzas de viento solo se considerarán las correspondientes a un frente de la torre. Las áreas de

exposición se calcularán con las dimensiones reales proporcionadas por el fabricante.

- Para la exposición de cables se consideran 15 líneas de 7/8" y 2 líneas de 1/2" de diámetro para microondas, 1 cable del número 2/0 del pararrayos y 1 cable de uso rudo de 3/4" de diámetro para el sistema de iluminación. Todas estas líneas sobre el cuerpo de la estructura de la torre se consideran como área de exposición al viento, lo mismo que la escalera y la cama guía de onda.
- El análisis y diseño de la estructura se regirá bajo las especificaciones del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, por el Reglamento de Construcción del Distrito Federal y sus normas técnicas complementarias vigentes, AISC, ASTM y reglamentos vigentes de la localidad en que se instalará la estructura.

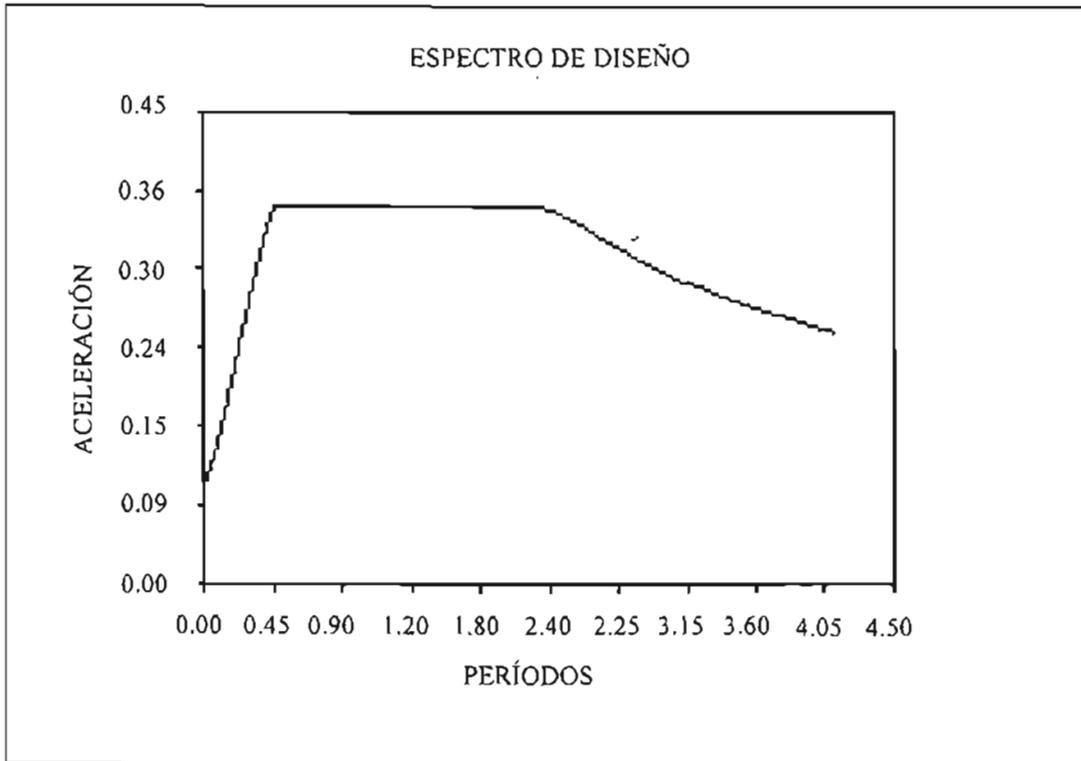


Figura 13. Espectro de diseño sísmico para estructuras del grupo A

Zona sísmica de la República Mexicana	Tipo de suelo	$a_0$	C	$T_a$ (s)	$T_b$ (s)	r
Zona A	I (Terreno Firme)	0.02	0.08	0.2	0.6	1/2
	II (Terreno de Transición)	0.04	0.16	0.3	1.5	2/3
	III (Terreno Compresible)	0.05	0.20	0.6	2.5	1
Zona B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	1/2
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	2/3
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1
Zona C	I	0.36	0.36	0.0	0.6	1/2
	II	0.64	0.64	0.0	1.4	2/3
	III	0.64	0.64	0.0	1.9	1
Zona D	I	0.50	0.50	0.0	0.6	1/2
	II	0.86	0.86	0.0	1.2	2/3
	III	0.86	0.86	0.0	1.7	1

Tabla 4. Zonas sísmicas de la República Mexicana.

**CAPÍTULO 4**  
**INGENIERÍA DEL SITIO**

## **CAPÍTULO 4**

### **INGENIERÍA DEL SITIO**

#### **4.1. PANORAMA GENERAL.**

En los enlaces punto a punto o punto a multipunto, es necesario realizar varios procesos para poder asegurar y obtener un radio enlace al 100% de disponibilidad durante todo el año, sobre todo en las poblaciones de difícil acceso. Para lograr esto es necesario contar con todos los datos que se necesitan para el cálculo del enlace, ya que de no ser así, se pueden tener pérdidas económicas muy grandes, ya que habría retrasos en las instalaciones, lo cual puede ser provocado por la falta de campo de recepción por la baja ganancia de las antenas o por no existir línea de vista entre estaciones, o debido a infraestructuras que no son las adecuadas para lograr un radioenlace. En consecuencia, se requiere un nuevo diseño de ingeniería del sitio y la construcción de una nueva infraestructura, con el consiguiente incremento del costo del proyecto.

También hay que considerar que los datos de demanda y tráfico sean lo mas preciso, debido a la sensibilidad que representa una determinada solución técnica para el ámbito rural, por el hecho de que el dimensionamiento de un proyecto puede quedar corto o sumamente holgado por falta de información veraz; sin embargo, el mayor impacto es que la solución técnica podría ser totalmente diferente con el consecuente abandono de una inversión realizada por una mala planeación.

Durante la planeación es importante mencionar, que ésta deberá a estar encaminada a lograr la economía a largo plazo, es decir, se debe desarrollar la red telefónica de tal manera que la infraestructura que se va generando sea lo mas rentable y permita incorporar nuevas áreas rurales con costos de inversión marginales.

La planeación de las áreas rurales deberá considerar el estudio de todas las posibles poblaciones, sin tomar en cuenta limitaciones, teniendo presente que en muchas de ellas no se realizarán proyectos a corto plazo, pero deben estar consideradas a plazos mas largos.

En base a estudios realizados determiné seleccionar el “Proyecto Bucareli” para este trabajo, debido a que cumple con los intereses políticos y las condiciones adecuadas para que este proyecto sea rentable a mediano plazo.

## **4.2. CÁLCULO DEL ENLACE.**

### 4.2.1. Estudio de gabinete.

El estudio de gabinete es el primer paso para obtener datos para el cálculo del enlace.

#### 4.2.1.1. Poligonal abierta.

En topografía se da el nombre de poligonal abierta a una línea quebrada de “n” lados cuyos extremos no coinciden. Para este caso se trata de una poligonal abierta de enlace cuyos extremos son conocidos de antemano. Se trata de determinar un perfil topográfico formado por la poligonal abierta, la cual nos indica si hay línea de vista entre las dos estaciones terminales establecidas y la estación repetidora, previniendo que no haya obstáculo alguno entre estaciones, para lograr el radio enlace.

Para obtener el perfil topográfico determinamos primero la ubicación geográfica de los puntos necesarios para el radio enlace:

- Población: Bucareli.
- Municipio: Pinal de Amoles.
- Estado: Querétaro.
- Coordenadas: Latitud (N)  $21^{\circ} 02' 27''$  ; Longitud (W)  $99^{\circ} 36' 46''$
- Altitud: 1180 msnm.
- Azimut:  $8^{\circ} 10' 13''$
- Número de habitantes: 420<sup>4</sup>
- Número de viviendas: 120<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Censo de población y vivienda INEGI 2000.

Estos datos los obtenemos de la carta topográfica en la que se localiza la población correspondiente. Esta carta tiene las siguientes características: publicada por el INEGI, edición 2001, escala 1:50000, equidistancia entre curvas de nivel 20 m.

La población de Bucareli es solo un punto geográfico, la cual requiere como mínimo otro punto geográfico para lograr un enlace telefónico.

Para el caso que nos ocupa, el siguiente punto requerido para lograr un radioenlace es aquel en el que se deberá instalar una torre autosoportada en un lugar que se deberá estudiar previamente para determinar su ubicación geográfica con la carta topográfica, en el cual deberá existir un espacio libre entre los dos puntos para lograr la radiocomunicación, no debiendo haber ningún obstáculo, como edificios, árboles o de otro tipo, entre ellos. Este punto es intermedio y sirve de enlace entre dos puntos terminales.

A este punto intermedio se le denomina Estación Repetidora, la cual, es la parte intermedia entre la Oficina Central y los Radio Abonados, y se encarga de mezclar la señal de voz con la señal de radio-frecuencia en los procesos de transmisión y recepción.

La estación repetidora a considerar para la instalación de la torre autosoportada se localiza en el Cerro el Tejocote, en la Sierra Gorda Queretana, con los siguientes datos geográficos obtenidos de la carta topográfica:

- Estación repetidora: El Tejocote.
- Municipio: Pinal de Amoles.
- Estado: Querétaro.
- Coordenadas: Latitud (N) 21° 06' 42" ; Longitud (W) 99° 36' 07"
- Altitud: 2320 msnm.
- Azimut: 188° 10' 27" / 297° 42' 26"

Para transportar la señal proveniente de la estación rural Bucareli a través del repetidor de microondas El Tejocote hacia su oficina central en la

Ciudad de Querétaro, debido a la distancia, necesitamos de otra estación repetidora ya existente para llegar a nuestro punto terminal final.

Esta estación repetidora ya existente y que en la actualidad cursa una gran cantidad de enlaces a diversas regiones se denomina La Pingüica, con los siguientes datos geográficos:

- Estación repetidora: La Pingüica
- Municipio: Pinal de Amoles.
- Estado: Querétaro.
- Coordenadas: Latitud (N)  $21^{\circ} 09' 28''$  ; Longitud (W)  $99^{\circ} 41' 44''$
- Altitud: 3180 msnm.
- Azimut:  $117^{\circ} 40' 25''$

El siguiente diagrama muestra la configuración de este enlace:

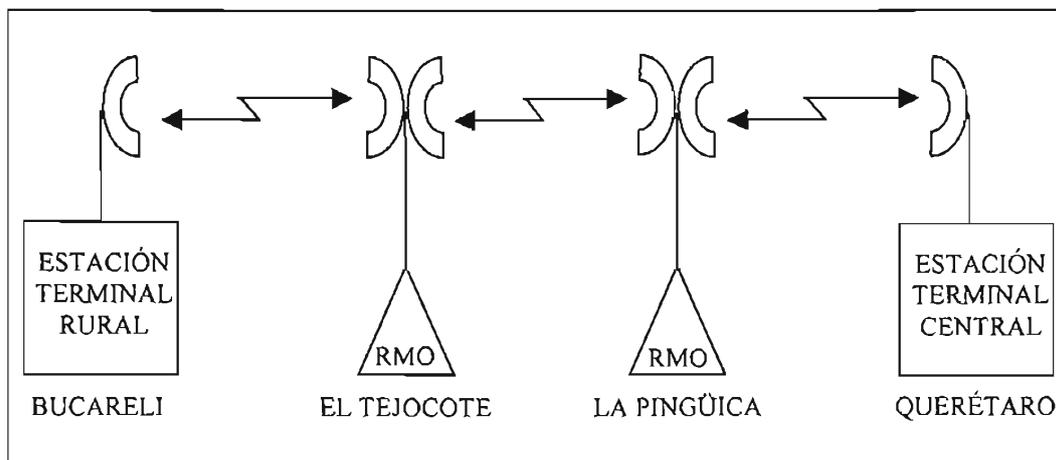


Figura 14. Enlace de microondas Bucareli - Querétaro

Trazamos sobre la carta topográfica una línea recta entre los puntos seleccionados, y se realiza una lectura de la zona para construir el perfil topográfico, debiendo tener mucho cuidado en detectar los obstáculos que pudieran obstruir la señal.

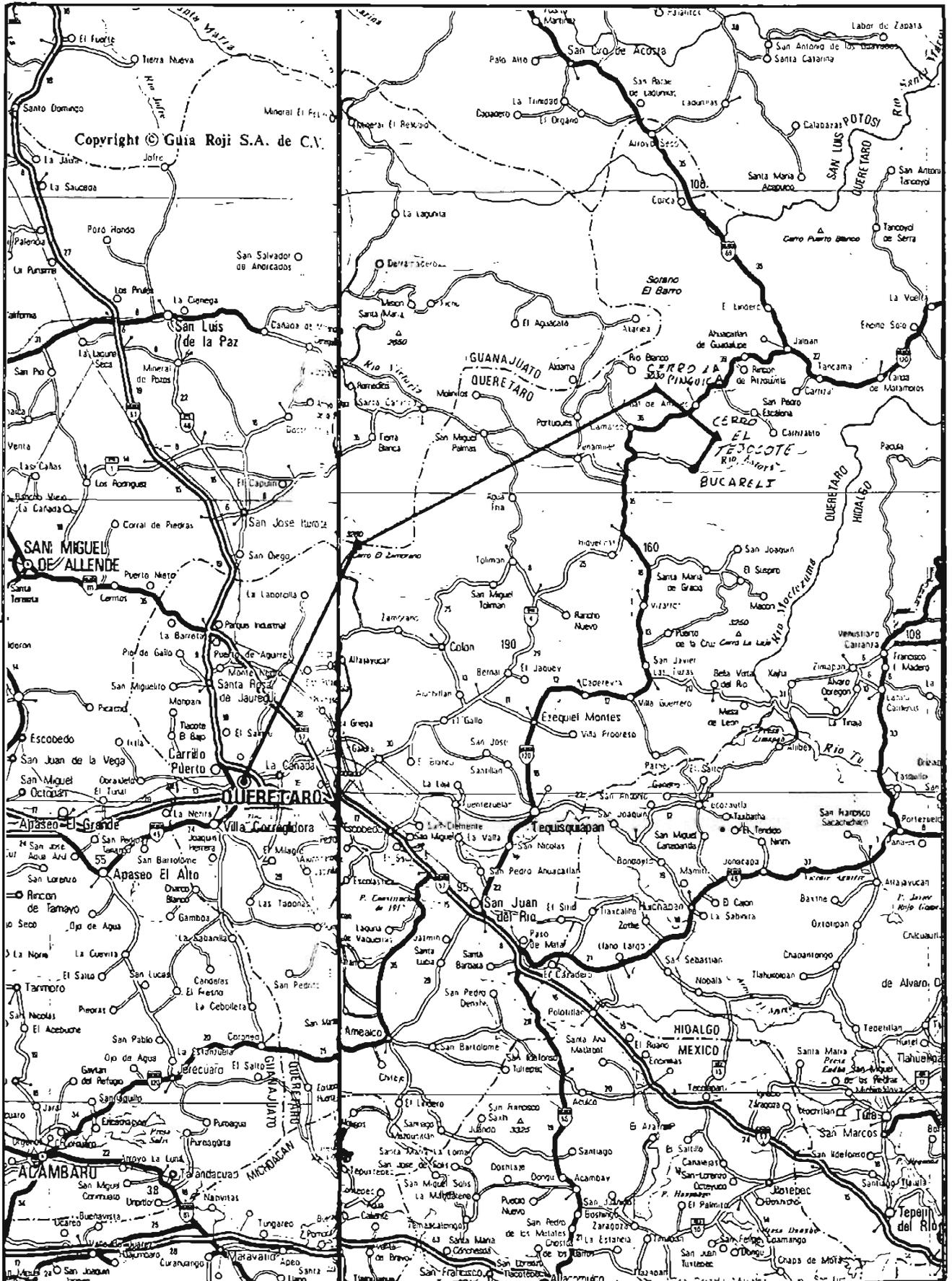


Figura 15. Puntos seleccionados para el radioenlace

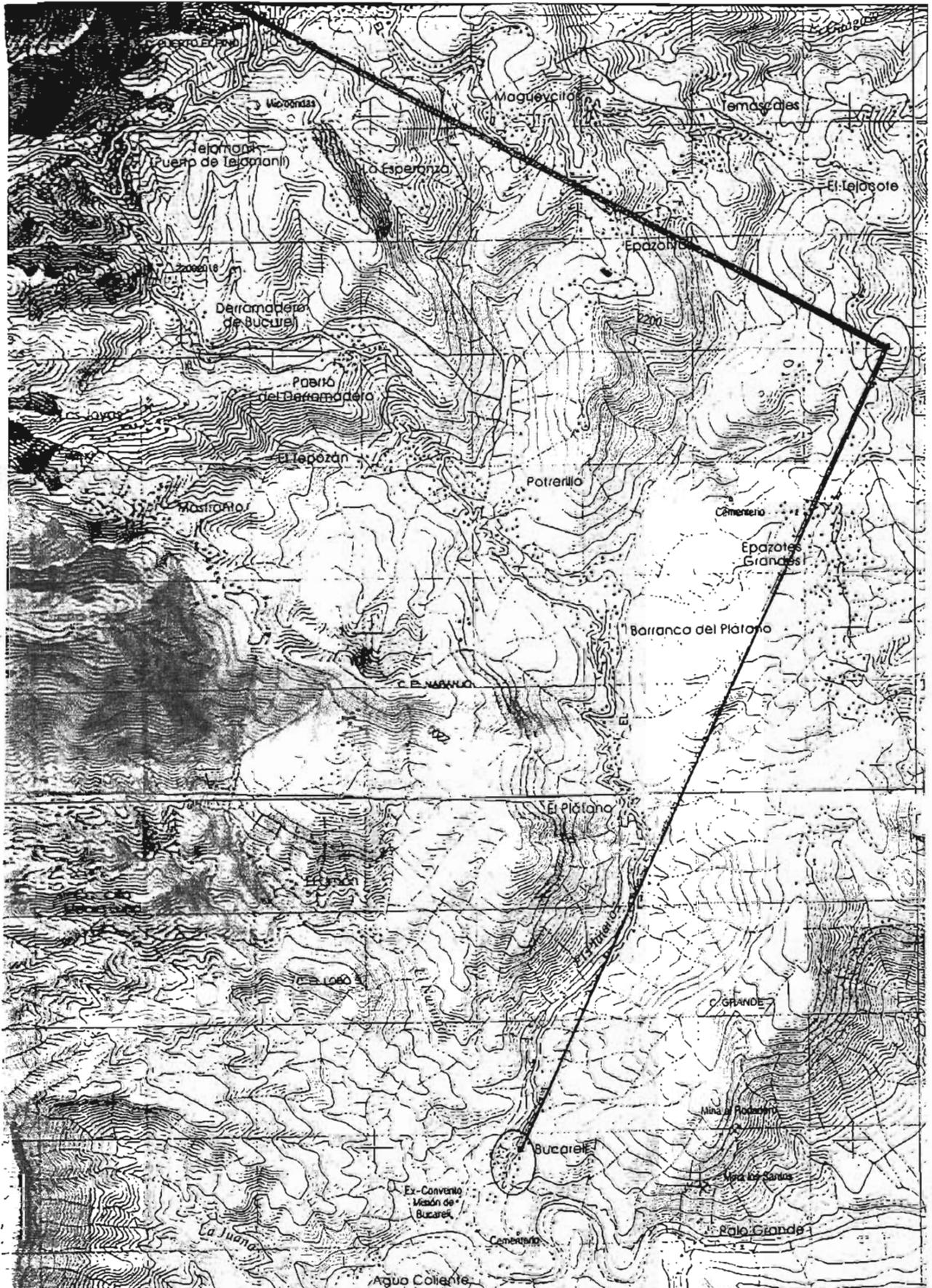


Figura 16. Localización sobre la carta topográfica (ubicación Bucareli-El Tejocote)

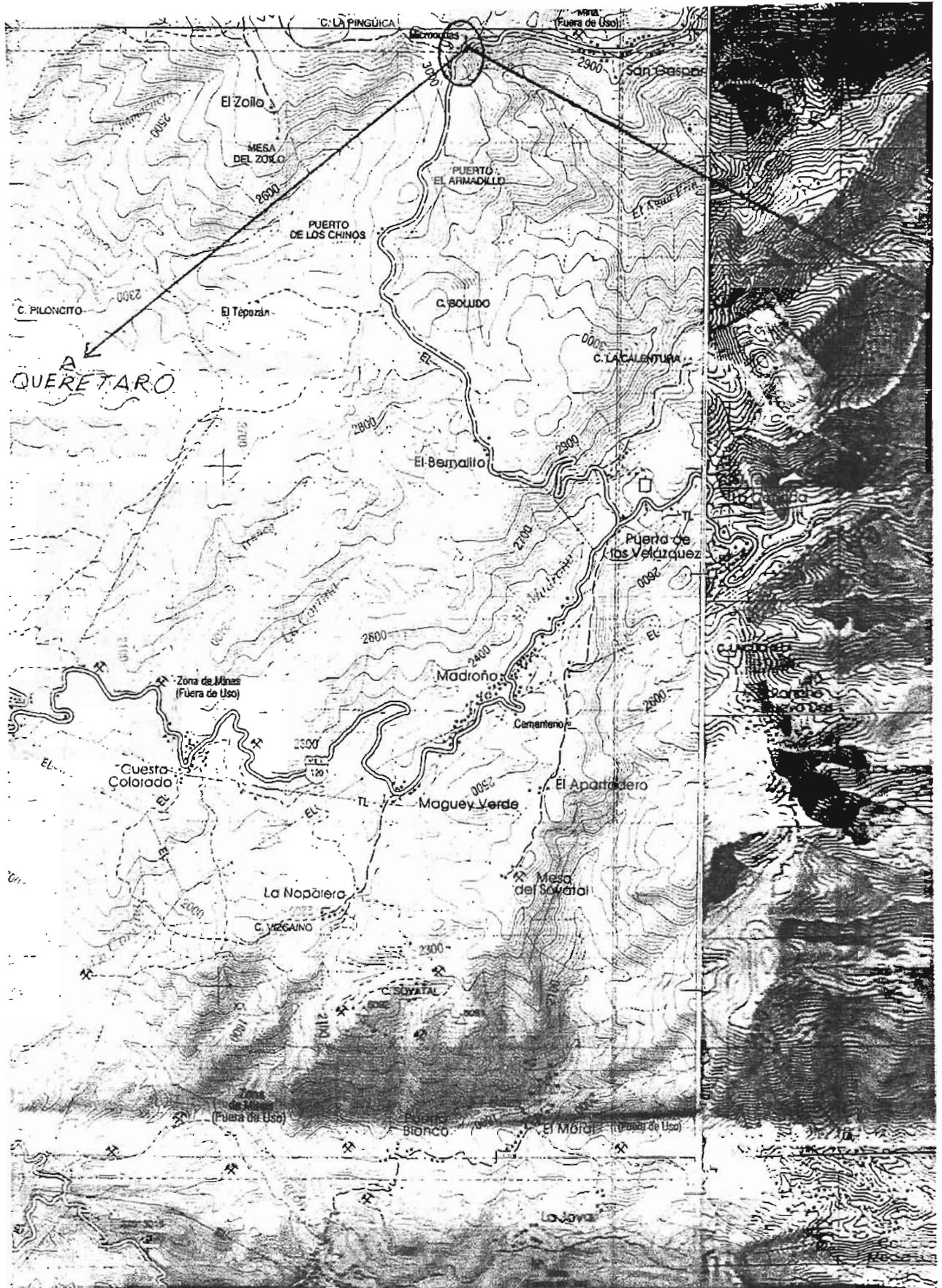


Figura 17. Localización sobre la carta topográfica (ubicación Cerro La Pingüica)

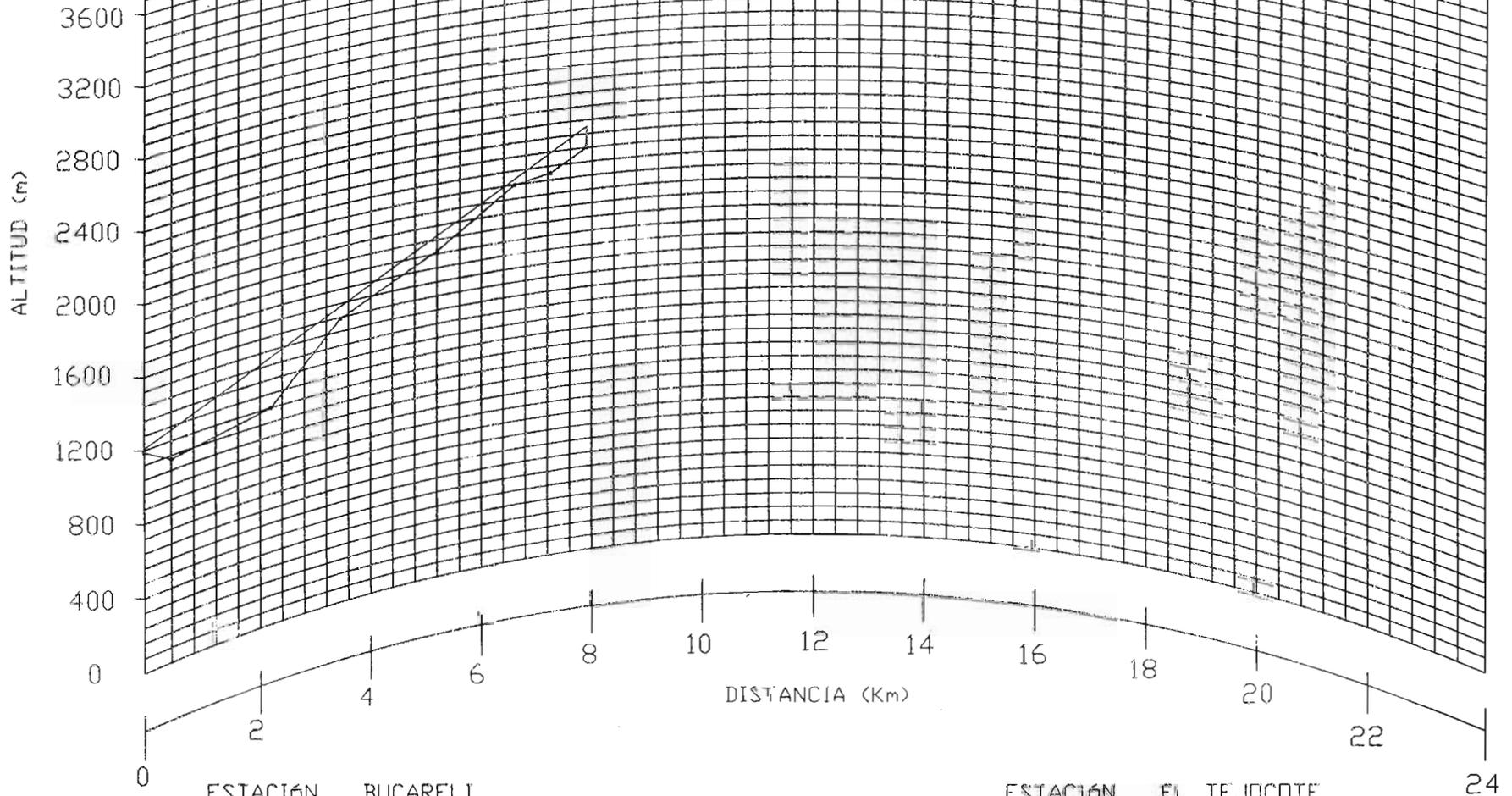
La Tabla 5 muestra el registro de los datos tomados directamente de la carta topográfica:

NOMBRE DEL PROYECTO:		ESTADO: QUERÉTARO.		
BUCARELI	ESTACIÓN 1		ESTACIÓN 2	
	MAPA: F14C48		MAPA: F14C48	
	ESCALA 1:50,000			
NOMBRE DE LA POBLACIÓN		BUCARELI	EL TEJOCOTE	
LATITUD (N):		21° 02' 27"	21° 06' 42"	
LONGITUD (W):		99° 36' 46"	99° 36' 07"	
ALTITUD (mSNM):		1180	2320	
ALTURA DE LA TORRE (m):		24	104	
ALTURA DE LA ANTENA (m):		20	100	
DISTANCIA ENTRE ESTACIONES (Km):			7.95	
FRECUENCIA DE OPERACIÓN (Mhz):			10.7 GHz	
FACTOR DE CLARIDAD:			0.6	
FACTOR K:			1.33	
PUNTO	DISTANCIA (Km)	ALTITUD (mSNM)	VEGETACIÓN (m)	OBSERVACIONES
1	0.00	1180	0.0	
2	0.40	1100	10.0	
3	2.20	1200	10.0	
4	3.45	1600	10.0	
5	5.20	1860	10.0	
6	6.46	2160	10.0	
7	7.24	2200	10.0	
8	7.95	2320	10.0	
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				

Tabla 5. Registro de datos tramo Bucareli-El Tejocote.

Con los datos del registro anterior obtenemos el perfil topográfico y determinamos si en el punto seleccionado para la Estación Repetidora El Tejocote tiene línea de vista hacia la Estación Terminal Rural Bucareli de acuerdo con la siguiente representación gráfica, (ver figura 18):

PERFIL TOPOGRÁFICO (K=4/3)



ESTACIÓN BUCARELI  
 ALTITUD 1180 m.  
 AZIMUT 8° 10' 13"  
 LATITUD (N) 21° 02' 27"  
 LONGITUD (W) 99° 36' 46"  
 ALTURA DE TORRE 24 m.  
 ALTURA DE ANTENA 20 m.

ESTACIÓN EL TEJOCOTE  
 ALTITUD 2320 m.  
 AZIMUT 188° 10' 27"  
 LATITUD (N) 21° 06' 42"  
 LONGITUD (W) 99° 36' 07"  
 ALTURA DE TORRE 104 m.  
 ALTURA DE ANTENA 100 m.

DISTANCIA 7.95 Km.

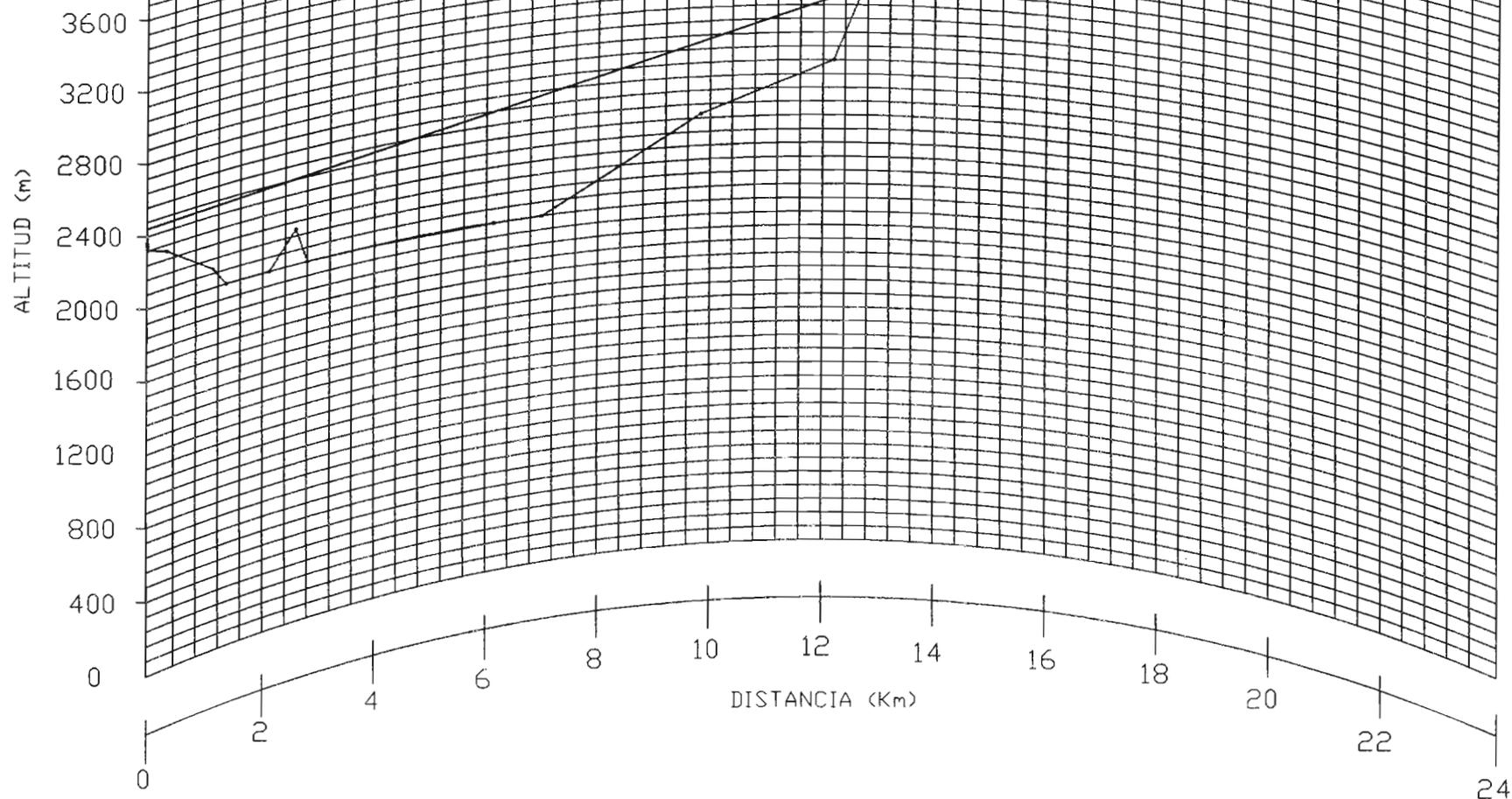
Figura 18. Perfil topográfico tramo Bucareli - El Tejocote

De igual forma obtenemos el perfil topográfico (ver tabla 6) y determinamos si en el punto seleccionado para la Estación Repetidora El Tejocote tiene línea de vista hacia la Estación Repetidora La Pingüica, si es así, estaremos en condiciones para proponer la altura de la torre a instalar en El Tejocote e incluso también en Bucareli.

NOMBRE DEL PROYECTO:		ESTADO: QUERÉTARO.		
BUCARELI	ESTACIÓN 2	ESTACIÓN 3		
	MAPA: F14C48	MAPA: F14C47		
ESCALA 1:50,000				
NOMBRE DE LA POBLACIÓN	EL TEJOCOTE	LA PINGÜICA		
LATITUD (N):	21° 06' 42"	21° 09' 28"		
LONGITUD (W):	99° 36' 07"	99° 41' 44"		
ALTITUD (mSNM):	2320	3180		
ALTURA DE LA TORRE (m)	104	40		
ALTURA DE LA ANTENA (m)	40	25		
DISTANCIA ENTRE ESTACIONES (Km):		12.65		
FRECUENCIA DE OPERACIÓN (Mhz):		10.7 GHz		
FACTOR DE CLARIDAD:		0.6		
FACTOR K:		1.33		
PUNTO	DISTANCIA (Km)	ALTITUD (mSNM)	VEGETACIÓN (m)	OBSERVACIONES
1	0.00	2320	10.0	
2	0.30	2300	10.0	
3	1.10	2100	10.0	
4	1.35	2000	10.0	
5	2.10	2000	10.0	
6	2.62	2200	10.0	
7	2.80	2000	10.0	
8	4.00	2000	10.0	
9	6.15	2000	10.0	
10	7.00	2000	10.0	
11	9.85	2500	10.0	
12	12.20	2800	10.0	
13	12.65	3180	10.0	
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				

Tabla 6. Registro de datos tramo El Tejocote-La Pingüica

PERFIL TOPOGRÁFICO (K=4/3)



ESTACIÓN EL TEJOCOTE  
 ALTITUD 2320 m.  
 AZIMUT 188° 10' 27"  
 LATITUD (N) 21° 06' 42"  
 LONGITUD (W) 99° 36' 07"  
 ALTURA DE TORRE 104 m.  
 ALTURA DE ANTENA 40 m.

ESTACIÓN LA PINGÜICA  
 ALTITUD 3180 m.  
 AZIMUT 117° 40' 25"  
 LATITUD (N) 21° 09' 28"  
 LONGITUD (W) 99° 41' 44"  
 ALTURA DE TORRE 40 m.  
 ALTURA DE ANTENA 25 m.

DISTANCIA 12.65 m.

Figura 19. Perfil topográfico tramo El Tejocote - La Pingüica

#### 4.2.1.2. Disponibilidad del sistema.

Los cálculos del enlace permiten determinar el desempeño del sistema como una función de la longitud de la ruta seleccionada, equipo requerido y características específicas del área considerada como tipo de terreno y clima.

De acuerdo a las normas establecidas, se deben cumplir las condiciones de disponibilidad de los enlaces.

Las condiciones para cumplir con la disponibilidad del enlace o factibilidad del proyecto son las siguientes:

- a) Pérdida en el espacio libre ( $P_{el}$ ). Es la atenuación de las ondas electromagnéticas (OEM) en el medio de transmisión (en este caso el espacio o el aire), la cual esta influenciada por varios factores como condiciones climatológicas, frecuencia de operación, distancia entre sitios y condiciones del terreno.

La  $P_{el}$  esta expresada con la siguiente fórmula:

$$P_{el} = 20 \times \log(f) + 20 \times \log(d) + 32.46$$

Donde:

$P_{el}$  = pérdida en el espacio libre (dbm)

$d$  = distancia entre sitios (Km)

$f$  = frecuencia de operación (Mhz)

- b) Nivel de la potencia de recepción ( $P_{Rx}$ ). Es un nivel de potencia de una onda electromagnética (OEM) referenciado a un miliwatt (dbm), la cual es captada por una antena y después amplificada por los circuitos de recepción de cualquier radio.

La  $P_{Rx}$  esta expresada con la siguiente fórmula:

$$P_{Rx} = P_{TX} + G_{a1} + G_{a2} - P_{L1} - P_{L2} - P_{el} - P_{a1} - P_{a2}$$

Donde:

$P_{RX}$  = potencia de recepción (dbm)

$P_{TX}$  = potencia de transmisión (dbm)

$G_{a1}$  = ganancia de la antena 1 (dbi)

$G_{a2}$  = ganancia de la antena 2 (dbi)

$P_{L1}$  = pérdida de la línea 1 (db)

$P_{L2}$  = pérdida de la línea 2 (db)

$P_{el}$  = pérdida en el espacio libre (dbm)

$P_{a1}$  = pérdida de acopladores 1

$P_{a2}$  = pérdida de acopladores 2

c) Zona de Fresnel. Es la zona en donde se concentra la energía de la señal electromagnética (OEM). Existen varias zonas de Fresnel, la que nos interesa es la primera, ya que en ella es donde se concentra la mayor parte de la energía de la OEM.

La zona de Fresnel consiste en una serie de superficies elípticas concéntricas alrededor de la línea de vista de la ruta entre las dos antenas. Una regla para los radios de microondas es que la primera zona de Fresnel debe de estar libre de obstáculos o superficies reflejantes que puedan causar interferencia en la señal ocasionando una gran pérdida de señal en el receptor.

Las zonas de Fresnel son calculadas como una función de las frecuencias de transmisión, longitud de la ruta y la ubicación del punto a lo largo de la ruta.

El radio de la primera zona de Fresnel ( $F_1$ ) se calcula con la siguiente expresión:

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d1 \times d2}{f \times D}}$$

Donde:

$F_1$  = radio de la primera zona de Fresnel (m)

d1 = distancia desde el transmisor al punto de reflexión (Km)  
d2 = distancia desde el punto de reflexión hasta el receptor (Km)  
f = frecuencia de operación del sistema (GHz)  
D = distancia del enlace (Km)

- d) Factor K. Se refiere al fenómeno de refracción que encorva el haz de las ondas electromagnéticas (OEM), debido a la discontinuidad de la presión barométrica en función de la altitud. Para tomar en cuenta este fenómeno y poder simplificar su representación gráfica, el haz verdadero encorvado se representa recto y el radio de la Tierra se afecta por el factor K.

El factor K se calcula con la siguiente expresión:

$$K = \frac{R_{TV}}{R_{TR}}$$

Donde:

K = factor de corrección

R<sub>TV</sub> = radio de la tierra virtual (Km)

R<sub>TR</sub> = radio de la tierra real (6380 Km)

Se considera el factor de corrección K = 4/3 ó 1.33

- e) Curvatura de la Tierra (Ct). Para calcular la curvatura de la Tierra se tiene la siguiente expresión:

$$Ct = 0.078 \frac{d1 \times d2}{K}$$

Donde:

Ct = curvatura de la Tierra (m)

d1 = distancia desde el transmisor al punto de reflexión (Km)

$d_2$  = distancia desde el punto de reflexión hasta el receptor (Km)

$K$  = factor de corrección =  $4/3$

- f) Desempeño del espacio libre o factor de claridad (C). Es el factor que determina la ausencia de obstáculos entre dos puntos.

La expresión del desempeño del espacio libre se define:

$$C = \frac{R_{ED}}{R_{Ee}}$$

Donde:

$C$  = desempeño del espacio libre o factor de claridad

Normalmente, el valor de  $C = 0.6$

$R_{ED}$  = radio del elipsoide desempeñado

$R_{Ee}$  = radio del elipsoide entero

- g) Cálculo de indisponibilidad. Está en función del radio de la primera zona de Fresnel y del factor  $K$ , del ángulo de inclinación y el nivel del margen. Estos datos son la base para establecer un enlace de una manera correcta y eficiente cumpliendo con las normas de la UIT.

- h) Margen (M). Es la relación entre el nivel de recepción y el nivel de umbral del equipo, y esta expresado por:

$$M = N_{RX} - N_U$$

Donde:

$M$  = margen (db)

$N_{RX}$  = nivel de recepción

$N_U$  = nivel de corte del sistema (dbm)

(el nivel de corte del sistema varía entre  $-92$  y  $-90$  dbm, según el equipo de que se trate).

- i) Ángulo de elevación (Ae). Es el ángulo en que se va a orientar la antena verticalmente, y esta expresada como:

$$Ae = \text{Tan}^{-1} \left[ \frac{\Delta H}{D} \right]$$

Donde:

Ae = ángulo de elevación (°)

$\Delta H$  = altura ASM + altura de torre (m)

D = distancia entre estaciones (m)

- j) Ángulo de inclinación ( $\alpha$ ). Es el ángulo de inclinación del enlace, está expresado en mm. de radián y su fórmula es la siguiente:

$$\alpha = \frac{Ae \times \pi}{0.18}$$

Donde:

$\alpha$  = ángulo de inclinación del enlace (mm rad)

Ae = ángulo de elevación del sitio (°)

$\pi = 3.1415927$

#### 4.2.1.3. Microondas.

La región de frecuencias conocida como microondas se encuentra definida entre la banda de 1 GHz y 100 GHz. En el espectro radioeléctrico se encuentra ubicada entre la radiodifusión comercial y la luz infrarroja.

Las microondas se utilizan para realizar enlaces punto a punto y punto a multipunto, debido a sus buenas características de propagación.

Del rango de frecuencias de microondas la mas utilizada es la región entre 1 y 23 GHz para la comunicación entre las diferentes compañías y organizaciones que requieren el uso de microondas.

Las frecuencias mayores a 23 GHz son reservadas principalmente para usos militares y algunas comunicaciones privadas y comerciales.

En México la regulación para el uso de la banda de frecuencias se rige a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes<sup>5</sup>, la cual deberá planear, formular y conducir las políticas y programas, así como regular el desarrollo de las telecomunicaciones, con base en el Plan Nacional de Desarrollo y los programas sectoriales correspondientes.

La Dirección General de Administración del Espectro de la S.C.T. asigna las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, (tabla 7).

Se requiere concesión de la Secretaría para usar, aprovechar o explotar una banda de frecuencias en el Territorio Nacional, salvo que se trate de espectro de uso libre o de uso oficial.

BANDA	USO
10.7 – 11.7 GHz	ENLACES DE MICROONDAS PUNTO A PUNTO Y PUNTO A MULTIPUNTO
14.5 – 15.35 GHz	
17.7 – 19.7 GHz	
21.2 – 23.6 GHz	

Tabla 7. Bandas autorizadas actualmente

#### 4.2.1.4. Línea de vista.

Se considera un enlace con línea de vista cuando la concentración del haz de las ondas electromagnéticas (OEM) no se encuentran obstruidas por ningún obstáculo dentro de la trayectoria de propagación.

Para hacer que los costos de la infraestructura sean viables se necesita optimizar los recursos, en este caso se busca la altura mínima de las antenas en las torres a la que se pueden instalar.

<sup>5</sup> Ley Federal de Telecomunicaciones, artículo 10.

De acuerdo al estudio de gabinete, se determinó la instalación de las siguientes torres:

a) Estación terminal rural Bucareli:

Torre con retenidas de 24 m de altura.

Altura de la antena 20 m.

b) Estación repetidora El Tejocote:

Torre autoportada de 104 m de altura.

Altura de la antena hacia Bucareli de 100 m.

Altura de la antena hacia La Pingüica de 40 m.

c) Estación repetidora La Pingüica:

Torre autoportada existente de 40 m de altura.

Altura de la antena hacia El Tejocote de 25 m.

Con las referencias anteriores, determinamos si la primera zona de Fresnel se encuentra libre de obstáculos para realizar el radioenlace.

De los perfiles topográficos que obtuvimos podemos observar a simple vista, que el tramo El Tejocote – La Pingüica esta libre de obstáculos, por lo que no representa ningún problema para que pase la señal; en cambio, en el tramo Bucareli – El Tejocote, pudiera la señal chocar con algún objeto debido a que pasa muy cerca de la superficie terrestre, por lo que realizaremos el cálculo de la primera zona de Fresnel para definir si es viable el enlace de este sistema:

Datos:

$d_1 = 6.46 \text{ Km}$

$d_2 = 1.49 \text{ Km}$

$D = 7.95 \text{ Km}$

frecuencia de operación = 10.7 GHz.

Entonces:

Curvatura de la Tierra.

$$C_t = 0.078 \frac{d_1 \times d_2}{K} = 0.078 \frac{6.46 \times 1.49}{1.33}$$

$$C_t = 0.5645 \text{ m.}$$

Primera zona de Fresnel.

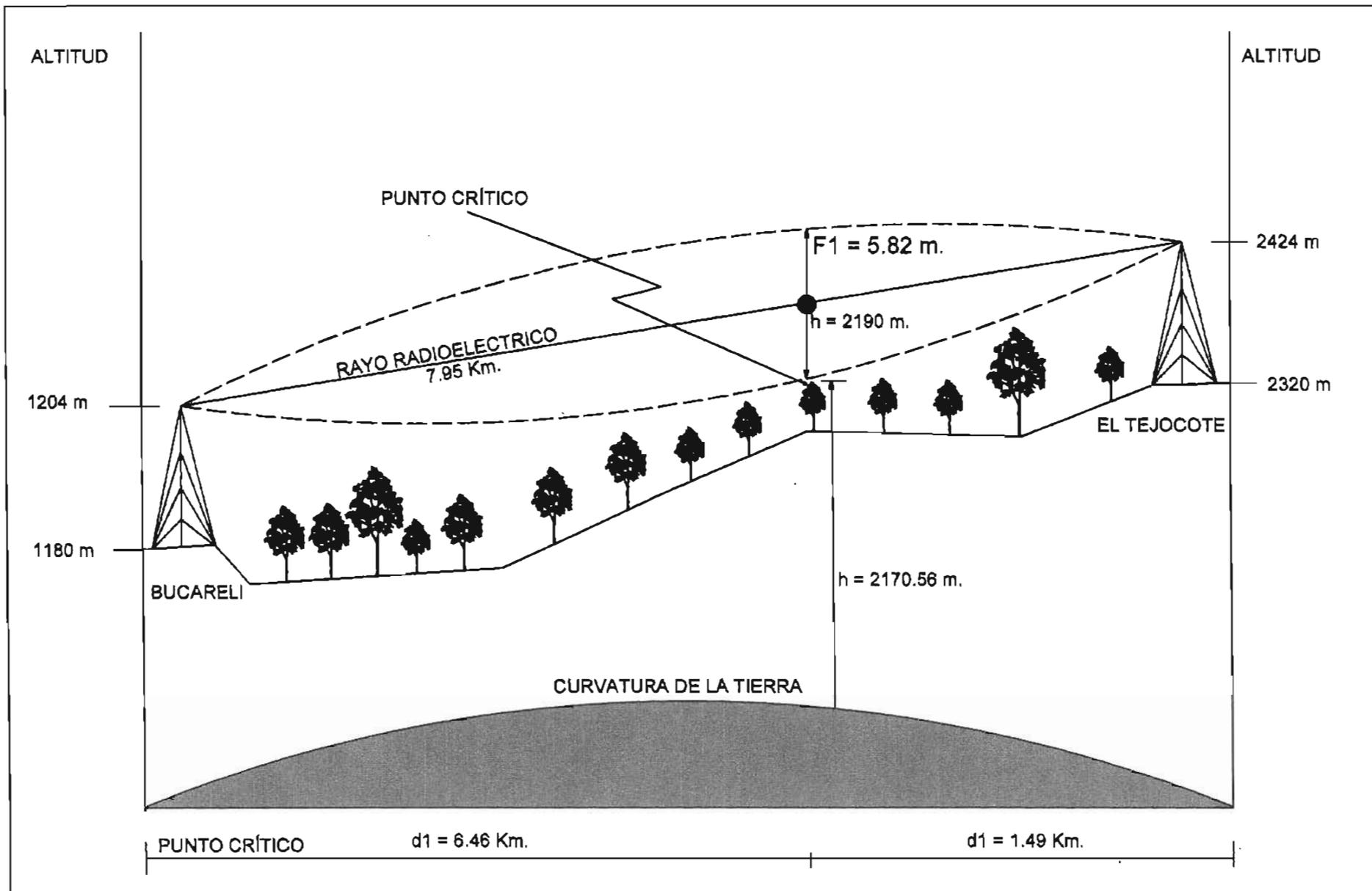
$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{f \times D}}$$

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{6.46 \times 1.49}{10.7 \times 7.95}}$$

$$F_1 = 5.82 \text{ m.}$$

Solo realizaremos este cálculo ya que es el que nos interesa para definir si la altura de las antenas es la adecuada y observar que no exista ningún obstáculo en la ruta de propagación de la señal electromagnética, (ver figura 20).

Figura 20. Perfil topográfico tramo Bucareli-El tejocote considerando la primera zona de Fresnel



En la figura anterior se ha dibujado la primera zona de Fresnel (F1) y el efecto de la curvatura de la Tierra (Ct), para el punto considerado como crítico a 6.46 Km. de la estación Bucareli.

Como ya se mencionó, el fenómeno de refracción en la atmósfera curva el rayo radioeléctrico, debido a la discontinuidad de la presión barométrica en función de la altitud. Para tomar en cuenta este fenómeno y para simplificar la representación gráfica, el rayo verdadero se representa recto y el radio de la Tierra se afecta por un factor  $K = 4/3$ .

Entonces, considerando este perfil topográfico y con los datos obtenidos de Ct, en la gráfica se ha dibujado la altura h real del punto crítico, considerando la curvatura de la Tierra:

$$h = 2160 + 10 + 0.5645 = 2170.56 \text{ m.}$$

El radio de la primera zona de Fresnel se extiende 5.82 m. hacia abajo en el punto crítico, lo que da un alcance de 2195.82 m. (punto de altura de concentración de F1) + 5.82 = 2240.82 m.

Observamos que la altura real son 2170.56 metros y la zona de Fresnel es de 2195.82 metros, lo que indica que no existe traslape, lo que garantiza una buena propagación del rayo radioeléctrico ya que la primera zona de Fresnel se encuentra libre.

#### **4.2.2. Estudio de campo.**

Al realizar la visita al lugar en donde se deberá instalar la torre autosoportada, se deben confirmar los datos obtenidos en el estudio de gabinete:

- Las coordenadas del sitio con el Global Positioning System (GPS).
- La altura sobre el nivel del mar (ASNM).
- Comprobar que exista línea de vista entre estaciones.

Efectivamente, una vez elegidos los sitios de instalación, una de las tareas más importantes a realizar es determinar si existe línea de vista.

Para distancias cortas se puede observar a simple vista, colocándose en uno de los sitios propuestos y verificar que la ruta hacia la otra estación se encuentre libre de obstáculos.

Para distancias largas o cuando las condiciones climatológicas son adversas, se requiere el uso de binoculares.

Si la estación opuesta es difícil de ubicar, se utilizarán espejos, luz estroboscópica, banderas o brújula e incluso globo aerostático.

En esta etapa del proceso, estando en el campo se pueden presentar los siguientes problemas:

- En el caso de haber propuesto una torre cuyas dimensiones no se ajustan al sitio escogido, se deberá de elegir otra ubicación.
- El sitio que se eligió en el estudio de gabinete no permite la instalación del equipo.
- El sitio que se eligió en el estudio de gabinete no tiene línea de vista por una construcción muy grande cercana o por la vegetación que es demasiado alta y cercana al sitio de instalación.

En estos casos es necesario ubicar un nuevo sitio, con lo cual se cambia la trayectoria de propagación y por lo tanto el perfil topográfico, por lo que es necesario realizar un nuevo cálculo del enlace y efectuar una vez más el estudio de gabinete, pero ahora en el sitio.

**CAPÍTULO 5**  
**INSTALACIÓN DE TORRES AUTOSOPORTADAS**

## CAPÍTULO 5

### INSTALACIÓN DE TORRES AUTOSOPORTADAS.

#### 5.1. TRAMOS ESTRUCTURALES.

El cuerpo de una torre autoportada está formada por diversos tramos de acero estructural de longitudes de 6 metros aproximadamente y piernas de 3 metros, así como remates de 3 metros también. El acero de los perfiles a utilizar es el definido por el ASTM A-36

Los diversos elementos que componen la estructura son:

a) Piernas. Es la parte de la estructura de la torre autoportada que se apoya directamente en la cimentación y transmite las cargas de toda la torre a dicha cimentación. Por lo regular, las torres autoportadas que se instalan en zonas montañosas son de tres piernas.

Las piernas están formadas por elementos estructurales horizontales y diagonales, (ver figura 21).

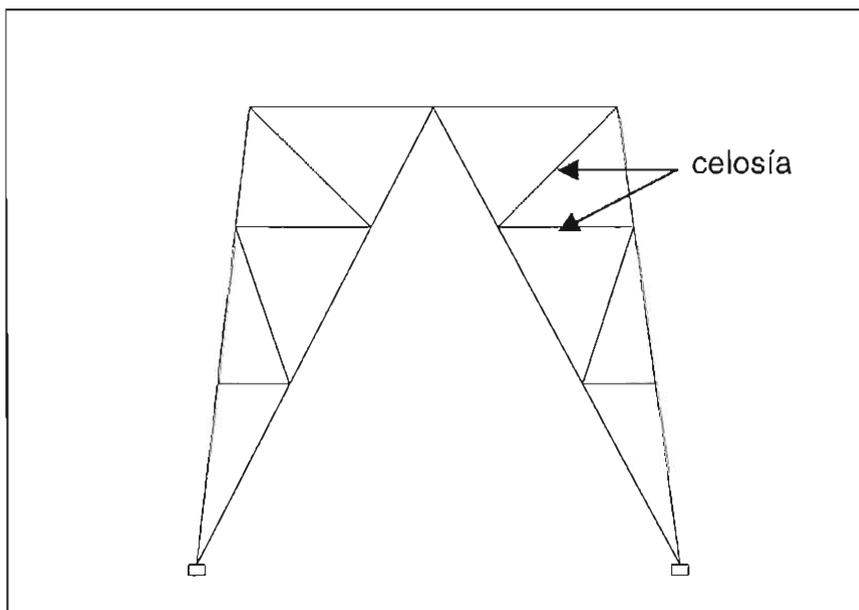


Figura 21. Piernas torre autoportada (T-18)

- b) Celosía. Esta formada por elementos estructurales horizontales y diagonales, y sirve para aumentar la rigidez de la estructura.
- c) Montantes. Partes de la estructura en la que se ensamblan a un nuevo tramo de la torre, y deben ser capaces de soportar cada tramo instalado arriba de él, (ver figura 22 y 23).
- d) Diafragma. Elemento estructural que rigidiza la montante.

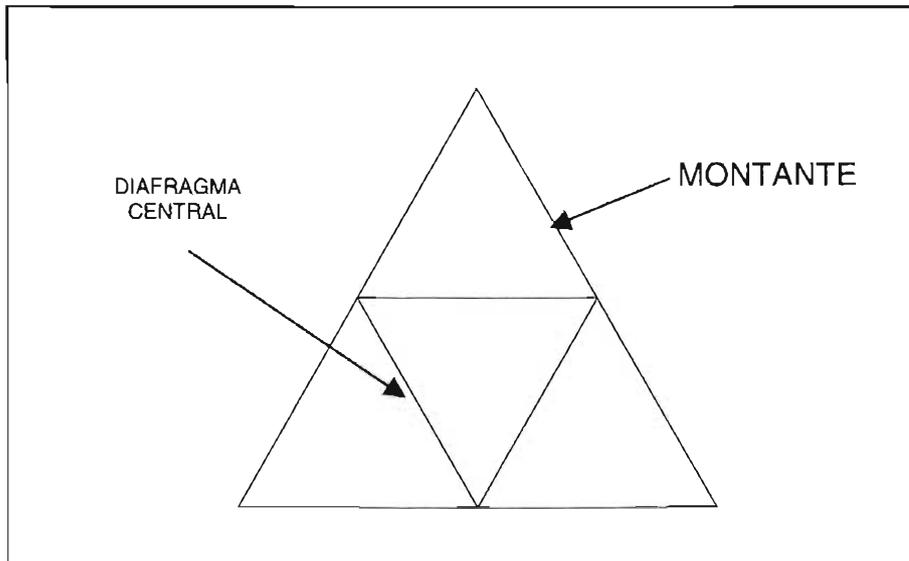


FIGURA 22. MONTANTE PRINCIPAL

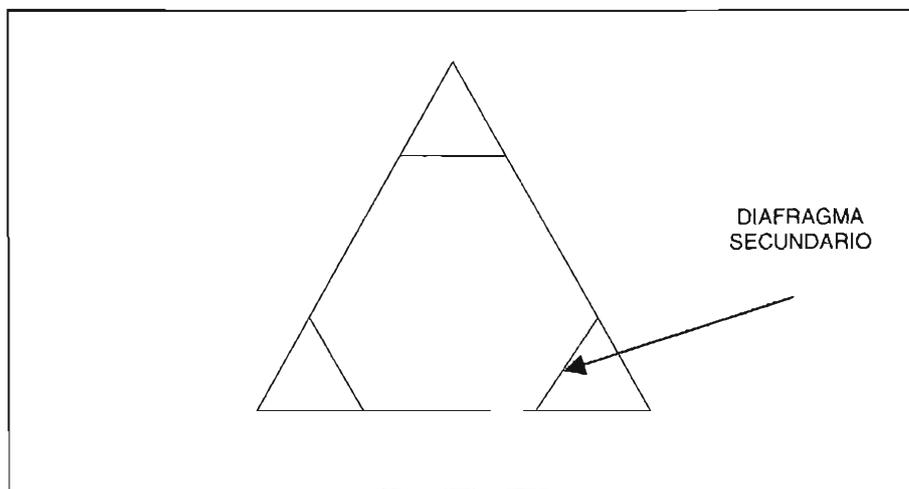


FIGURA 23. MONTANTE SECUNDARIO

Los tramos se fabrican en planta y se instalan en campo con una grua. Su geometría en elevación es de forma piramidal y en planta es triangular, (ver figura 24).

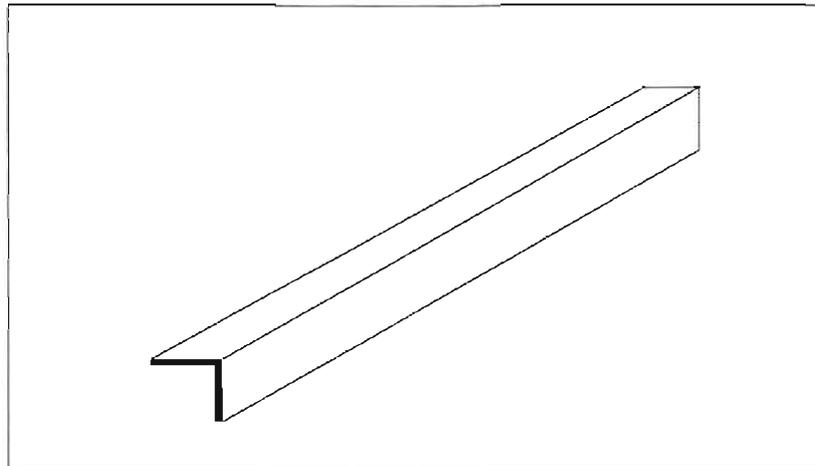


Figura 24. Ángulo estructural para torres autosoportadas

Para la torre que se instalará en la estación repetidora El Tejocote de 104 metros de altura se necesitarán 16 tramos de 6.125 m. mas 1 tramo ( T-18) de 3.00 m para las piernas y un tramo de 3 m ( T-1) para la cúspide.

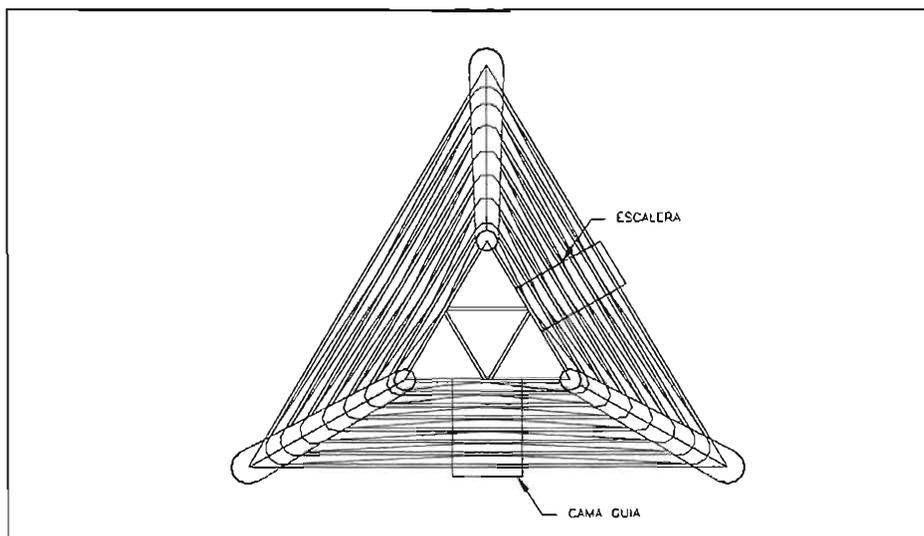


Figura 25. Planta de la Torre

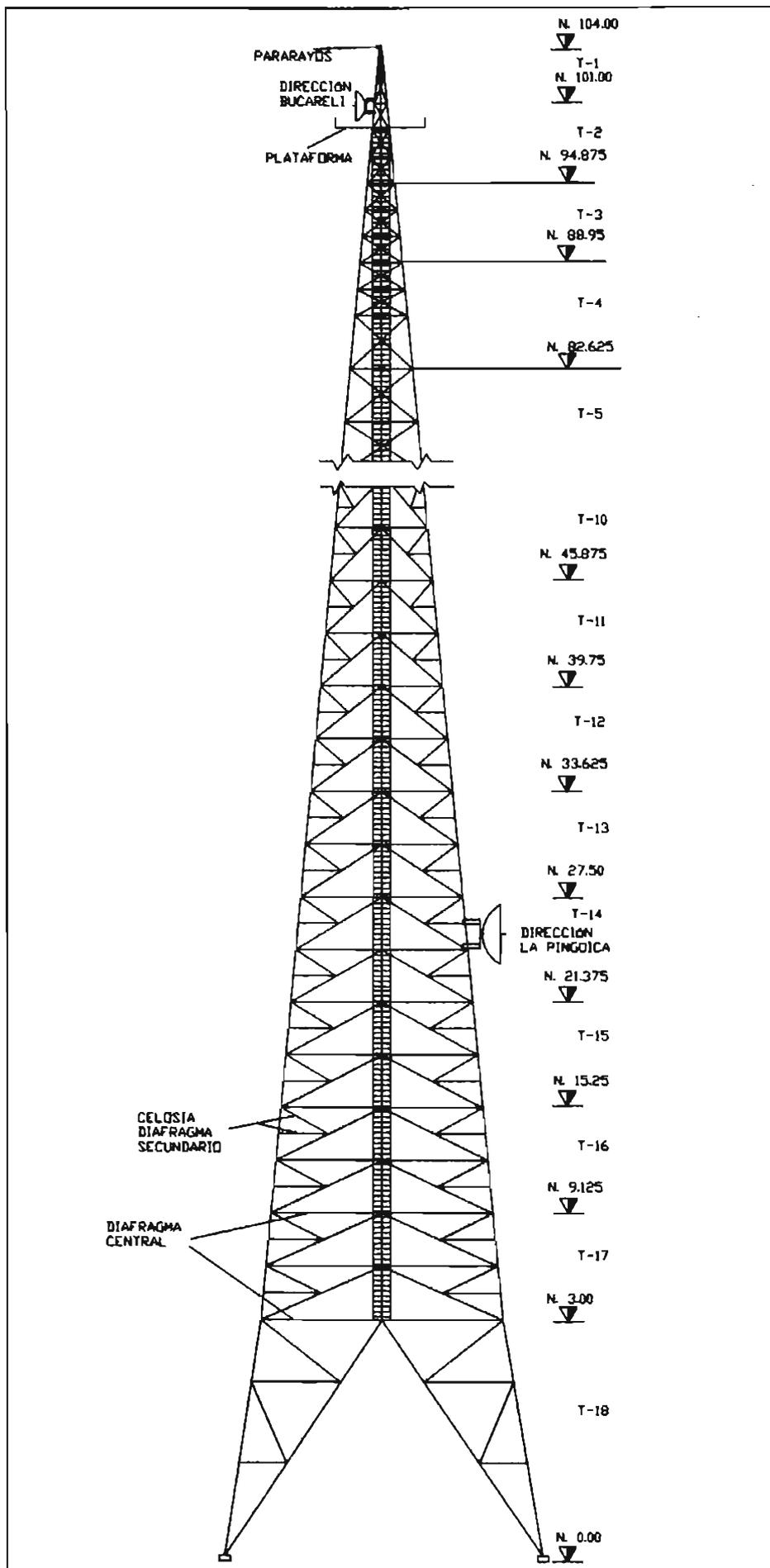


Figura 26. Elevación de la torre

## 5.2. CONEXIONES ATORNILLADAS.

Una estructura de acero se forma del ensamblaje de los miembros estructurales que constituyen su armazón. Se deben realizar conexiones o juntas estructurales en donde los miembros se deban unir por sus extremos, de manera que permitan que la carga siga su flujo continuo y ordenado hasta llegar a la cimentación de la estructura. Como la función de la conexión es para pasar las cargas a los miembros adyacentes, se debe diseñar la estructura de manera adecuada. El diseño de las conexiones implica que las juntas sean seguras y económicas.

Las conexiones atornilladas se clasifican de acuerdo a lo siguiente :

- a) Conexiones del tipo de aplastamiento o del tipo de fricción.
- b) La rigidez de la conexión, que puede ser simple, rígida o de rigidez intermedia. El American Institute of Steel Construction<sup>6</sup>, clasifica las juntas basadas en la rigidez de la conexión como:
  - Tipo 1. Conexiones rígidas que desarrollan la capacidad total de momento de los miembros que se conectan y que mantienen un ángulo relativo constante entre las partes conectadas, bajo cualquier rotación de la junta.
  - Tipo 2. Estructuración simple sin transferencia de momentos entre las partes conectadas.
  - Tipo 3. Conexiones semirígidas donde se transfiere menos de la capacidad total de momento de los miembros conectados.
- c) El tipo de fuerzas transferidas a través de la conexión estructural :
  - Fuerzas cortantes: corrientes para vigas de piso y viguetas.
  - Momento: ya sea a flexión o torsión.
  - Tensión o compresión: como para los empalmes de los elementos estructurales.
  - Tensión o compresión con cortante: como para el contraventeo transdiagonal.
- d) La geometría de la conexión :
  - Conectores a base de angulares que se usan para unir los perfiles angulares.
  - Placas terminales en perfiles estructurales.

---

<sup>6</sup> Especificaciones AISC, sección 1.2

e) El sitio donde se fabrican :

- Conexiones de taller: hechos en el taller de fabricación.
- Conexiones de campo: las partes de las juntas se fabrican en el taller, pero se arman en el sitio de la obra.

f) La resistencia de la junta. Cuando se considera la resistencia de la junta, se tiene :

- Conexiones de fricción. En las conexiones que se diseñan como conexiones de fricción se supone que su resistencia primaria se desarrolla como cortante en los conectores (tornillos o remaches) en el plano potencial de deslizamiento entre las partes conectadas. No se desarrollará ningún movimiento relativo entre las partes conectadas hasta que no exceda sustancialmente la carga de diseño.
- Conexiones de aplastamiento. Conexiones donde la resistencia de la junta se toma como una combinación de la resistencia a cortante del conector y el aplastamiento del material conectado contra el conector. Como el cortante del conector es parte de la resistencia en el análisis de la conexión de aplastamiento, el área reducida para cortante de que se dispone para los conectores roscados cuando la rosca esté en cualquiera de los planos de deslizamiento requiere una reducción de la carga de diseño.

El diseño de las conexiones tanto de fricción como de aplastamiento implica el uso de un esfuerzo cortante permisible. Este valor es mucho mas bajo para las conexiones de fricción, puesto que no es deseable ningún deslizamiento de la junta bajo las cargas de trabajo. El valor será considerablemente mayor para las conexiones de aplastamiento, ya que se puede tolerar una pequeña cantidad de movimiento relativo entre las partes que forman la junta. Ambos tipos de juntas, además de diseñarse para cortante, se verifican por rutina para tensión en la sección neta y para aplastamiento del material conectado contra el conector.

En la práctica usual de fabricación se prefiere usar agujeros ovalados de mayor tamaño en las conexiones de fricción. Este tipo de agujeros permite un

montaje mas fácil en campo, ya que se dispone de mayor tolerancia en la alineación para los tornillos temporales de montaje.

Los tornillos deben satisfacer alguna de las siguientes normas ASTM-325 o ASTM-490.

Todos los tornillos A-325 o A-490 deben apretarse hasta que haya en ellos una tensión mayor o igual como se muestra en la tabla 8:

Ø tornillo	Toneladas (métricas)	
	A-325	A-490
½	5.4	6.8
5/8	8.6	10.9
¾	12.7	15.9
7/8	17.7	22.2
1	23.1	29.0
1 1/8	25.4	36.3
1 ¼	32.2	46.3
1 3/8	38.6	54.9

Tabla 8. Tensión en tornillos según normas ASTM

El fuste es el que da la medida, (ver figura 27 y 28). Tanto la tuerca como el tornillo deben ser de alta resistencia, para que sirva la conexión. El apriete puede realizarse utilizando medidores de tensión o usando llaves calibradas.

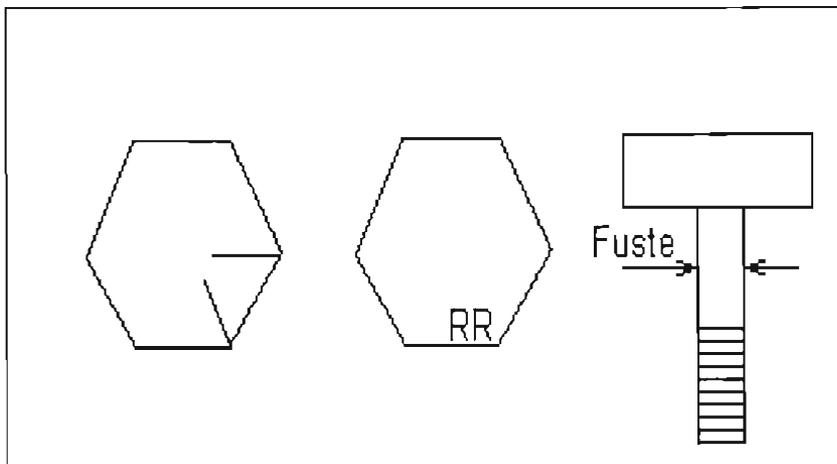


Figura 27. Vistas de un tornillo

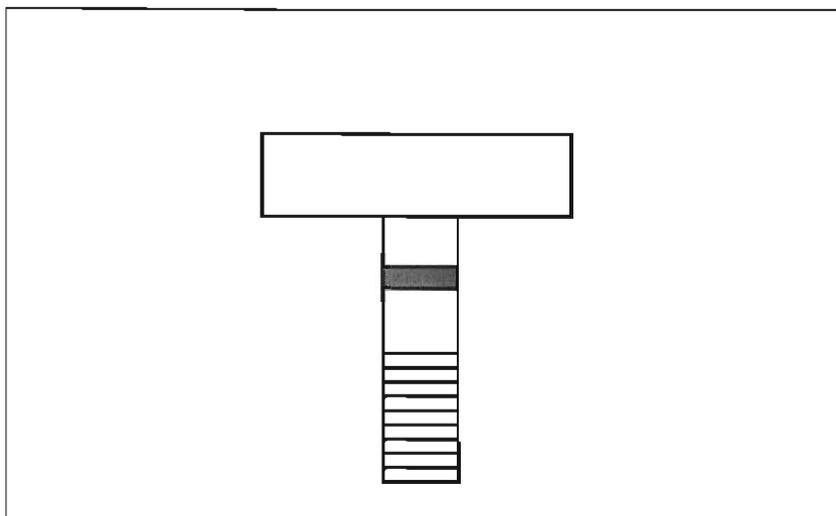


Figura 28. Área transversal

Los tornillos que trabajan en tensión directa, se dimensionarán de manera que su resistencia requerida promedio, calculada con el diámetro nominal y sin considerar tensiones producidas en el apriete, no excedan la resistencia de diseño. La fuerza aplicada en el tornillo será igual a la suma de las provocadas por las fuerzas externas factorizadas.

### 5.3. ORIENTACIÓN Y VERTICALIDAD DE LA TORRE.

Antes de realizar cualquier conexión de los elementos estructurales de la torre, se deberá orientar la torre adecuadamente.

Para su orientación debemos considerar el número de antenas a instalar por sector, el tipo y la altura del centro de radiación; así como la inclinación de las antenas, propiedades de los accesorios y espacios necesarios.

La orientación se dará con brújula magnética, marcando la misma sobre la superficie del terreno.

Al realizar la instalación de la estructura de la torre, y de sus accesorios como la cama guía y la escalera marina, se deberá cuidar principalmente su verticalidad por medio de nivelaciones medidas con tránsito desde la base de la torre, (ver figura 29). Si la torre aparenta estar fuera de su vertical (fuera de plomo)

después de una inspección visual, las lecturas obtenidas del tránsito, deberán ser hechas en tres puntos distintos aproximadamente a 120 grados cada uno (en cada cara).

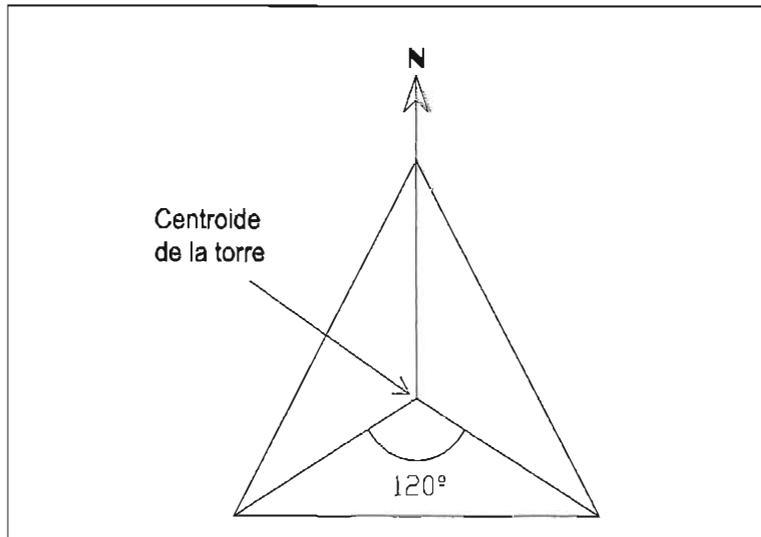


Figura 29. Orientación de la torre

#### 5.4. ACCESORIOS ESTRUCTURALES DE LA TORRE.

Sobre el cuerpo de la estructura de la torre se deben implementar una serie de accesorios y equipo para que dicha torre cumpla el objetivo para el cual fue instalada, se consideran los siguientes:

- a) Cama guía de onda. Es una estructura que sirve para alojar las líneas de transmisión en su trayectoria hacia el contenedor.
- b) Escalera marina. Es una estructura que sirve para acceder a la torre para dar servicio a los sistemas y dar mantenimiento al equipo. Se instalará en el exterior del cuerpo de la torre. Cuando la torre sea mayor a 12 metros de altura, se deberá instalar un sistema de cables de seguridad en toda la longitud de la escalera. Deberá tener una separación de 5 cm. libre entre el paño de la estructura de la torre y el ángulo interno de la misma, con la finalidad de permitir el adecuado apoyo sobre sus escalones y no sobre la estructura de la torre.

- c) Sector andador. Es un pasillo de 60 cm. de ancho con barandal perimetral y se requiere cuando las antenas se deben ubicar a diferentes alturas. El sector andador deberá iniciar desde la cara donde se encuentra la escalera de ascenso hasta la cara a la que se le instalarán las antenas.
- d) Plataforma de descanso. Es un pasillo de 3 m de longitud y 60 cm de ancho con barandal perimetral que servirá para tener descansos alternados en torres con altura mayor a 48 m, el número de plataformas de descanso se muestra en la tabla 9:

Altura	No. de plataformas de descanso
51 m – 66 m	1
72 m – 90 m	2
96 – 120 m	3

Tabla 9. Número de plataformas de descanso según la altura.

- e) Tramo T-45. es una estructura de aproximadamente 3 m de longitud de sección triangular de 45 cm por cara que sirve para elevar el pararrayos con respecto al tope de la torre.
- f) Soportes. Son estructuras que sirven para sostener las antenas que se instalarán sobre el cuerpo de la torre. Estas estructuras están expuestas a esfuerzos como son el peso de las antenas y el viento. Los soportes como están expuestos a la intemperie deberán estar protegidos contra la corrosión.

## 5.5. TIPOS DE ANTENAS.

Una antena es un dispositivo conductor metálico capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas, es decir, es una interfaz entre el transmisor y el espacio libre, y el espacio libre y el receptor. La antena acopla energía de la salida del transmisor a la atmósfera de la tierra.

Existen diversos tipos de antenas que se pueden instalar sobre el cuerpo de una torre autosoportada:

- a) Antenas no parabólicas: yagui, reflector angular, sector parabólico, omnidireccional, sectorial.
- b) Antenas parabólicas: se utilizan para UHF (0.3 a 3 GHz) y para microondas (1 a 100 GHz). Según el fabricante, existen platos desde 1.2 m. hasta 6 m. de diámetro, y se utilizan según la necesidad de transmisión, (ver figura 30).

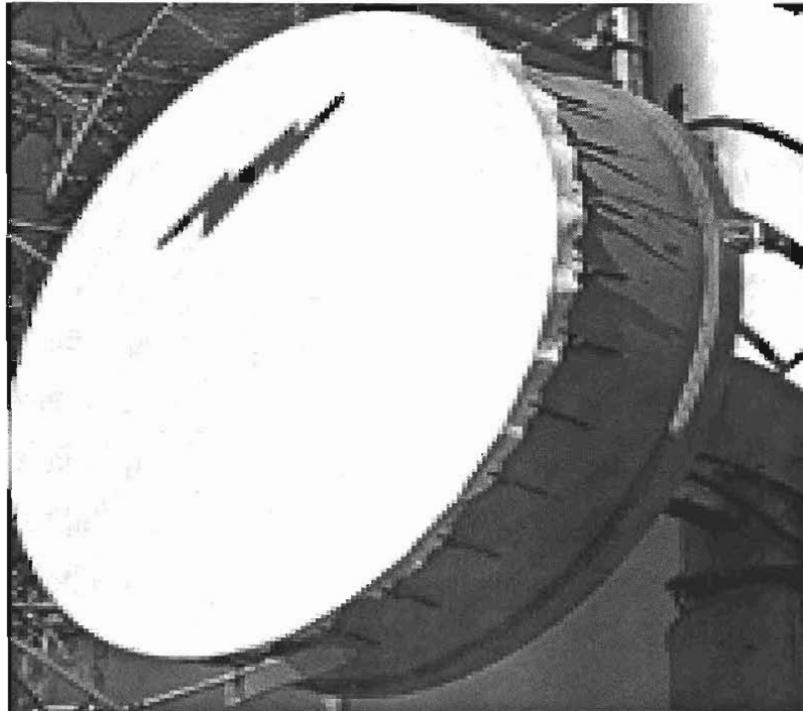


Figura 30. Antena de microondas

## 5.6. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.

Las líneas de transmisión utilizadas para los radioenlaces son los conductores que realizan la transferencia de energía entre el transmisor / receptor y la antena con una pérdida mínima de energía. Los tipos de líneas de transmisión o feeders, como también se les conocen son: la guía de onda (ver figura 31) y el cable coaxial.

Las líneas de transmisión son colocadas sobre la cama guía de onda, y se instala la cantidad necesaria de cableados para asegurar nuestro enlace y corren desde la conexión de la antena, pasando por todo lo largo de la estructura de la torre hasta el contenedor que aloja y protege el equipo de radiofrecuencia.

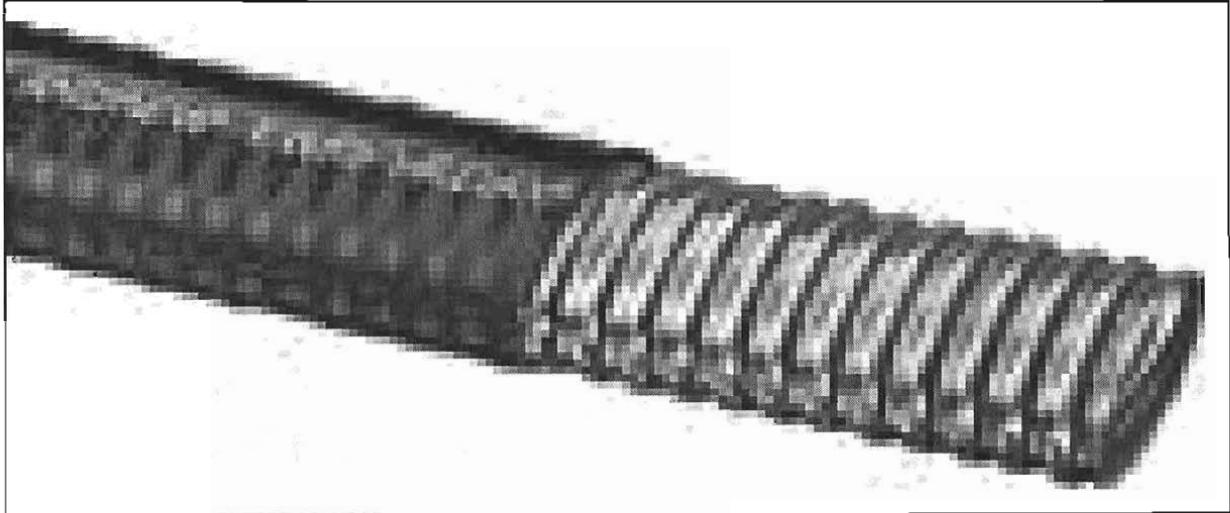


Figura 31. Línea de transmisión (Guía de onda)

## 5.7. SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

Con la finalidad de hacer una identificación visual de los objetos que por su forma, dimensiones y ubicación puedan interferir con el tráfico aéreo, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil, emitió el proyecto para regular la evaluación y autorización de obras en zonas cubiertas por superficies limitadoras de obstáculos y zonas de protección de aeródromos civiles.

Será requisito indispensable para la implantación de un sitio para un radioenlace, obtener un dictamen de señalización y balizamiento de la DGAC, para confirmar que no se tienen problemas de ubicación y altura para la implantación de dicho sitio.

El sistema de iluminación utilizará los siguientes equipos y accesorios (ver figura 32):

- a) Alumbrado rojo. El faro rojo de 300 mm se utiliza para protección nocturna, se deberá montar sobre una placa base con soportes tipo ménsula por la parte baja omitiendo el uso de cualquier elemento por la parte superior, con la finalidad de no tener ningún elemento que pudiera interferir con su visualización desde arriba. Se instala en cúspide en instalaciones cuya altura relativa

respecto al aeródromo sea de 60 a 100 m. y dentro de los límites de las áreas de protección. Su operación es omnidireccional.

- b) Estroboscópica. La utilización de éste tipo de iluminación es para casos en que la DGAC determine la necesidad de tener la señalización durante las 24 horas, sustituyendo la pintura o además de la pintura de la torre. Se podrá utilizar faro de destello de alta intensidad y media intensidad. Se deberá montar sobre una placa base con soportes tipo ménsula por la parte baja omitiendo el uso de cualquier elemento por la parte superior, con la finalidad de no tener ningún elemento que pudiera interferir con su visualización desde arriba. El uso de luces de destello blancas o estroboscópicas, se limita su instalación en la cúspide, pero de acuerdo con la DGAC se podrá instalar en el tercio superior del cuerpo de la torre. Las luces de alta intensidad se utilizarán en instalaciones cuya altura relativa respecto al aeródromo exceda los 150 m y su ubicación sea dentro de las superficies limitadoras de obstáculos, utilizándose 3 luces para cubrir un haz de 360°, considerando que cada luz tiene una cobertura de 120°. Las luces de media intensidad se emplearán en instalaciones que excedan de 100 m sobre el nivel del aeródromo con la misma condicionante de ubicación en zonas limitadoras, utilizando en este caso solo una luz, debido a que es omnidireccional.
- c) Luces de obstrucción rojas. Se usan en instalaciones con alturas relativas respecto al aeródromo de 45 a 60 m independientemente de su ubicación referida a las áreas de protección. Serán del tipo doble o sencilla según lo dictamine la DGAC, pueden instalarse en cúspide, sin embargo está condicionada a utilizarse como balizamiento secundario a un primer y segundo tercio superiores de la torre, en este caso serán únicamente dos luces sencillas situadas en piernas opuestas de la torre a la altura estipulada. Su instalación debe garantizar que no obstruya su visualización desde arriba de la torre.
- d) Sistema dual. Estroboscópica blanca para el día y luz roja para la noche. Se usará en la cúspide de la torre de hasta 150 m sobre el nivel del suelo. Se deberá montar sobre una placa con soportes tipo ménsula por la parte baja evitando el uso de cualquier elemento por la parte superior, con la finalidad de

no tener ningún elemento que pudiera interferir con su visualización desde arriba.

- e) Fococelda automática. Controlará de 1 a 8 juegos de luces de la torre encendiéndolas antes que la luz del norte baje menos de 35 candelas (377 lux) y apagarlas antes que la luz del norte suba mas de 60 candelas (645 lux) o de acuerdo a lo que especifique la DGAC. Su orientación será hacia el norte, siempre y cuando lo permita la instalación y sobre todo no se tenga obstrucción alguna.
- f) Sistema eléctrico general. Deberá ser en su totalidad cable de uso rudo, resistente a la intemperie, de pared de 25 mm y con el número de conductores de acuerdo a las lámparas instaladas en el sistema de alumbrado.

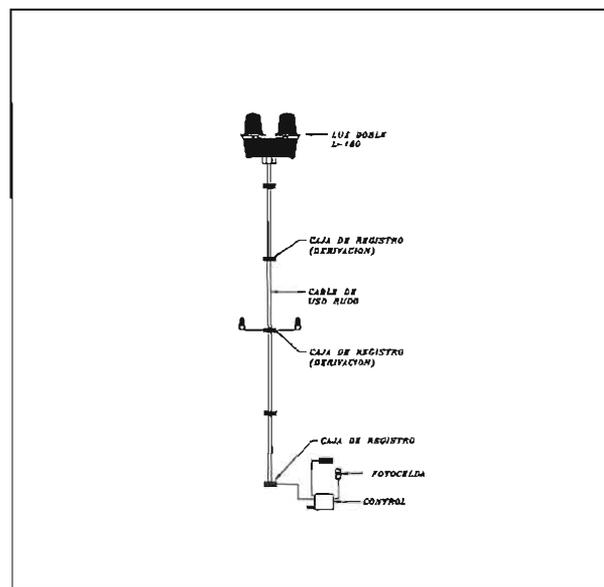


Figura 32. Sistema de iluminación

### 5.8. PINTURA DE LA ESTRUCTURA.

La pintura en torres se utiliza como balizamiento diurno, además de respetarse el balizamiento nocturno.

El pintado de la torre se hará en siete franjas horizontales repartidas en toda la longitud de la estructura alternando colores blanco y naranja internacional,

quedando el color naranja en los extremos o según lo indique el dictamen de la Dirección General de Aeronáutica Civil.

En las estructuras que funcionan para la instalación de antenas, es decir, en las torres, se puede omitir la pintura sustituyéndose esta con sistemas de iluminación de destello.

La pintura que se debe de utilizar debe ser de esmalte acrílico al 100%, de secado rápido, alta resistencia al amarillamiento, adherencia sobre metales galvanizados, rápida resistencia a la humedad, que se pueda usar en interiores y exteriores, resistencia a la salinidad de cualquier ambiente. Se deberá usar en dos capas para garantizar el completo recubrimiento de la capa de galvanizado.

Antes de montar, la estructura de la torre deberá ser pintada a nivel de piso. Ya instalada la torre solo se retoca con el mismo tipo de pintura.

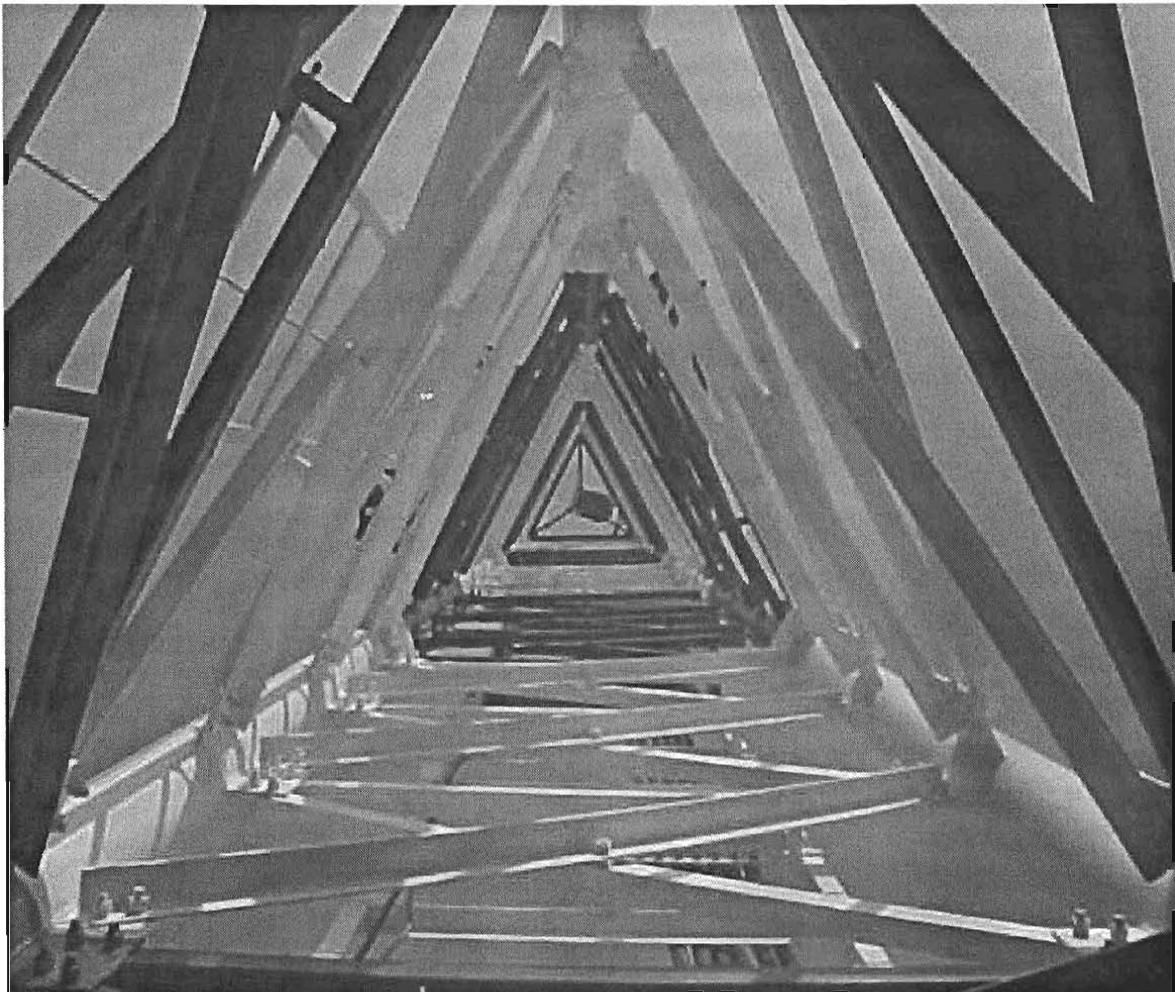


Figura 33. Vista de torre autosoportada desde su eje

## 5.9. ESTACIÓN REPETIDORA.

Cuando la distancia de transmisión es muy larga entre dos puntos, la señal radiada se debilita o se desvanece, lo que propicia que la información que porta se pierda. Para evitar distancias largas entre equipos de radiofrecuencia terminales se construyen estaciones repetidoras intermedias.

Una estación repetidora se encarga de recibir una señal proveniente de una estación remota, regenerarla y retransmitirla, es decir, convierte la señal de radiofrecuencia recibida a energía electromagnética para obtener la señal banda base que va a ser regenerada por demodulación. Sincroniza la señal por medio de un reloj interno, la vuelve a modular por medio de un convertidor y repite la señal de radiofrecuencia a la siguiente estación, que puede ser otra estación repetidora o una estación terminal.

Se construyen también estaciones repetidoras en condiciones difíciles para poder sacar la señal entre dos puntos, aún siendo distancias cortas. La dificultad que presentan ciertas zonas hace necesario construir toda la infraestructura necesaria para poder enlazar una señal por medio de una estación repetidora y transportarla hasta el punto de interés.

Básicamente, una estación repetidora esta formada por un equipo de radiofrecuencia transmisor y por un equipo de radiofrecuencia receptor, además de las antenas parabólicas necesarias, así como por una línea de transmisión, la cual conecta los equipos portadores a las antenas (ver figura34).

Para resguardar los equipos transmisores es necesario implementar en el sitio una sala o contenedor, el cual deberá ser diseñada de acuerdo al equipo o al número de equipos que deberá alojar, debiendo contar dicha sala además con un espacio para alojar las baterías que alimentarán el sistema de iluminación y al propio equipo.

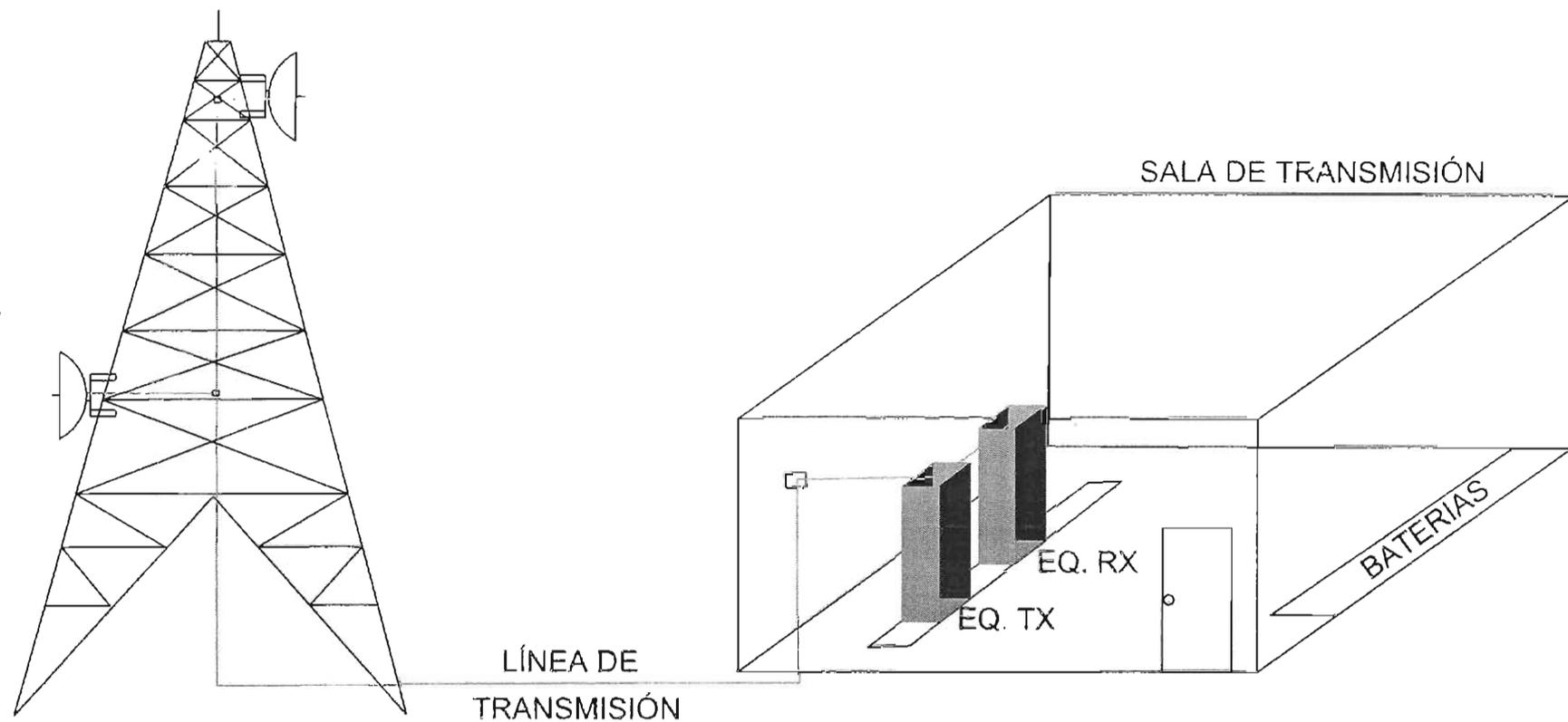


Figura 34. Estación repetidora

## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo al número de habitantes con los que cuenta una población se determina la implementación del equipo de radiofrecuencia, para poblaciones de entre 100 y 500 habitantes se requiere de un equipo de radio con una capacidad de 120 canales, lo que significa contar con 512 líneas telefónicas, con lo que se da cobertura a una población de 500 habitantes, considerando que la demanda no es del 100%.

La selección de la capacidad del radioenlace depende de la intensidad del tráfico telefónico que demande la zona a enlazar, de acuerdo a los criterios prioritarios de ingeniería.

2. Mi desempeño profesional para este tema consiste en lo siguiente:

- a) Seleccionar las posibles poblaciones de entre 100 y 500 habitantes que serán sujetas de implementarles la infraestructura necesaria para poder integrarlas a la red de telefonía nacional.
- b) Para este trabajo determiné incluir el Proyecto Bucareli, población que dado su interés para el Estado de Querétaro considero que es necesario dotarlo de la infraestructura telefónica.
- c) Mediante el estudio de gabinete decidí la inclusión de una estación repetidora para darle continuidad a la señal de microondas proveniente de la población Bucareli dado que no hay posibilidad de enlazarla directamente hacia su central madre en la ciudad de Querétaro, por lo cual tuve que incluir dicho repetidor para asegurar el radioenlace.
- d) Determiné la ubicación geográfica en donde se deberá construir la estación repetidora junto con la torre autosoportada con ayuda de las cartas topográficas correspondientes.
- e) Ya determinada la ubicación geográfica del repetidor, realizo un análisis de la ruta de propagación de las ondas electromagnéticas para determinar si existe línea de vista entre el repetidor y las estaciones terminales.

- f) Si existe línea de vista, o en su defecto, pudiera ser que algún obstáculo obstruyera la trayectoria de propagación, defino la altura necesaria de la torre autosoportada para salvar dicho obstáculo para que la señal pueda pasar libremente y no exista interferencia en la zona elegida.
- g) En visita programada (estudio de campo), acudo al sitio propuesto y mediante una inspección visual debo ratificar los datos obtenidos durante el estudio de gabinete, principalmente debo comprobar la existencia de línea de vista entre estaciones.
- h) Al realizar la visita al sitio propuesto para la instalación del radioenlace, debo tener especial cuidado de hacer las siguientes consideraciones: verificar construcciones de edificios o anuncios espectaculares que puedan obstruir la ruta; verificar crecimiento de árboles que también puedan obstruir la ruta; verificar cercanía con aeropuertos comerciales, privados o militares que puedan obstruir la ruta con su tráfico.
- i) Debo realizar un estudio socio-económico de la población en cuestión, determinando las características y estado físico de las viviendas, definiendo costumbres y hábitos de los habitantes, migraciones, etc.
- j) En entrevista con las autoridades locales se determina el predio que me asignarán para la construcción de la estación terminal rural y se les notifica el sitio en donde se pretende construir la estación repetidora y la instalación de la torre de acero de microondas tipo autosoprtada (objeto de este trabajo).
- k) En base al estudio socio-económico y con relación a la entrevista con las autoridades determino si dicha población debe ser considerada para invertir e implementar la infraestructura telefónica necesaria.

3. Debemos considerar en la estimación del desempeño del radioenlace la influencia de otras fuentes de radio en el rango de la misma frecuencia. Para esto es necesario medir los niveles de interferencia en el receptor, la potencia de salida de la fuente interferente y la pérdida en la ruta entre el transmisor interferente y el receptor interferido. Sin embargo, cuando se presente este caso, las mediciones son difíciles de realizar y la opción final es la reasignación de frecuencias.

4. La funcionalidad de cualquier torre depende del análisis que se le haga para determinar su altura dependiendo de su ubicación geográfica y de sus características topográficas en donde será instalada. Es común, aunque no deja de ser importante, el diseño estructural de la torre, así como el cálculo de su cimentación e incluso la construcción de dicha torre, sin embargo, un mal cálculo en la determinación de la altura de la torre representa un gasto excesivo e innecesario, ya que podría suceder que ya instalada la torre resulte con que no tiene línea de vista entre las estaciones seleccionadas, lo que provocaría una pérdida total de la inversión realizada. Por lo tanto, la esencia de una torre de telecomunicaciones es en realidad su altura, ya que de ella depende su operación y funcionamiento.

5. La orden de trabajo es la conclusión del proyecto y permite iniciar la construcción. Se deberá generar una orden de trabajo para cada una de las estaciones del radioenlace en la que se indica la clase de trabajo a ejecutar y se hace una descripción del trabajo a realizar.

6. La planeación de las áreas rurales deberá considerar el estudio de todas las posibles poblaciones, sin tomar en cuenta limitaciones, teniendo presente que en muchas de ellas no se realizarán proyectos a corto plazo, pero deben estar consideradas a plazos mas largos.

## GLOSARIO

**Abonado:** Suscriptor de una línea telefónica.

**Analógico:** Señal continua de forma senoidal en función del tiempo/amplitud.

**Atenuación:** Pérdida de potencia en las líneas de transmisión, debido a características físicas del conductor, al acoplamiento, a la distancia de propagación o por causas externas.

**Azimut:** Dirección de cualquier línea con respecto al norte geográfico o magnético.

**Balizamiento:** Señalamientos para proteger a la navegación aérea y a la estructura misma.

**Curva de nivel:** Línea que en un mapa o plano une todos los puntos de igual distancia vertical, altitud o cota.

**Db:** Es la relación que guarda la potencia o energía entregada en una punta del par de cable con la recibida en el otro extremo, nos indica la pérdida o atenuación de una señal recibida. Es una unidad logarítmica que expresa el valor relativo de dos magnitudes de igual naturaleza.

**Digital:** Señal analógica que mediante un proceso de muestreo es codificada.

**Espectro:** Es el resultado obtenido al desdoblar un haz heterogéneo de radiación electromagnética en sus distintos componentes de diferente longitud de onda.

**Estroboscópica:** Dispositivo óptico que permite observar cuerpos dotados con cierta altura.

**Feeders:** Conductores que realizan la transferencia de energía entre el transmisor/receptor y la antena con una pérdida mínima de energía.

**Fibra óptica:** Es un medio de transmisión de luz modulada, guiada en fibras de vidrio.

**Frecuencia:** Movimiento periódico por unidad de tiempo.

**Ganancia:** Es la relación de la potencia radiada en una dirección dada con la potencia en la misma dirección por una antena.

**GPS:** Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global). Sistema de navegación satelital que permite obtener las coordenadas terrestres posicionándose en cualquier satélite.

**Infraestructura:** Conjunto de bienes, instalaciones e inclusive servicios establecidos, básicos para lograr el desarrollo de una comunidad.

**Interferencia:** Es la degradación de las ondas electromagnéticas cuando dos o más se combinan, ya que las ondas no pueden ocupar simultáneamente el mismo punto en el espacio.

**Línea de vista:** Trayectoria de las ondas electromagnéticas que no se encuentran obstruidas por ningún obstáculo dentro de la trayectoria de propagación.

**Microondas:** Frecuencias generadas entre 1 GHz – 100 GHz.

**OEM:** Onda electromagnética que se produce por aceleración de una carga eléctrica que viaja por el espacio libre a la velocidad de la luz.

**Radioenlace:** es un sistema de telecomunicación que emplea el espacio libre como medio de transmisión para unir dos puntos para comunicarse.

**Redundante:** Ruta de seguridad adicional para proteger un enlace.

**Reflexión:** Fenómeno que se produce cuando una onda electromagnética choca con una barrera entre dos medios y no penetra el segundo material, sino que se refleja en el medio de incidencia a la misma velocidad y con el mismo ángulo.

**Refracción:** Es el cambio de dirección que sufre una onda electromagnética al pasar oblicuamente de un medio a otro, variando la velocidad de propagación.

**Sistema:** Conjunto de estaciones terminales y repetidoras que son enlazadas por medio de una señal generada y transportarla hasta un punto final.

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Catálogo de antenas parabólicas.  
Andrew Corporation.  
México 1995.
2. Catálogo de torres de acero para la comunicación industrial.  
Soldaduras y Máquinas del Norte, S.A.  
México 1994.
3. Catálogo de torres para telecomunicaciones.  
Grupo GarGo.  
México 1998 nueva edición.
4. Como proteger el acero de la corrosión.  
Asociación Mexicana de Galvanizadores, A.C.  
México 1984.
5. Criterios prioritarios de ingeniería.  
Instituto Tecnológico de Teléfonos de México.  
México 2002.
6. Diseño de acero estructural.  
Joseph E. Bowles.  
Ed. Limusa.  
México 1984.
7. Elaboración de proyectos con radios digitales.  
Instituto Tecnológico de Teléfonos de México.  
México 1999.
8. Estructuras de acero. Comportamiento y diseño.  
De Buén López de Heredia, Oscar.  
Ed. Limusa.  
España 1982.
9. Líneas privadas.  
Instituto Tecnológico de Teléfonos de México.  
Actualización 1996.

10. Manual Galvanizaciones y Aplicaciones.  
Grupo Gex.  
México 2000.
11. Manual de instalación de antenas parabólicas.  
Anten Kogyo., Ltd.  
México 1996.
12. Plan Fundamental de Transmisión.  
Instituto Tecnológico de Teléfonos de México.  
México 1997.
13. Problemas en los enlaces digitales.  
Wandel & Goltermann.  
USA 1990.
14. Programa de Telefonía Rural.  
Boletín de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.  
México 2003.
15. Registro de datos de Índice de población y vivienda.  
Censos Generales de Población y Vivienda 2000.  
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.  
México 2002.