



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DPTO. DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTINUOS
Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS
TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES PARA
SOPORTE DE ANTENAS DE
TELEFONÍA MÓVIL”**

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: MECÁNICA

AUTOR: RICARDO VIDAL SAN ROMÁN
TUTOR: IGNACIO A. IRAUSQUÍN CASTRO

Mayo 2011

A todos aquellos que siempre tuvieron y tendrán esperanza.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible, sin la oportunidad brindada por el Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, tanto por trato recibido como por la disposición y ánimo a poder presentar este proyecto.

Con especial mención a mi tutor, D. Ignacio A. Irausquín Castro, por su disposición y atención inmejorables que ha tenido en todo momento. También quisiera realizar mención a D. Angel Luis Sánchez Merino, profesor que me confió este proyecto y me animó a llevarlo a cabo.

Por último, no puedo dejar de mencionar a mi familia, por su apoyo incondicional y su esperanza en que algún día este proyecto se llevase a cabo, especialmente a mis padres, por su capacidad de motivación.

Gracias también a mis amigos y compañeros de empresa por haber colaborado con sus ánimos

Gracias por creer.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

Este proyecto intenta evaluar dos tipos de estructuras para el diseño de una torre de telefonía móvil. Para ello, en primer lugar se ha hecho una revisión bibliográfica para conocer todo lo relacionado al tipo de estructura que se desea diseñar y a las solicitaciones particulares que tienen las mismas en el ámbito de la telefonía móvil, en España. Se ha escogido el programa ED-Tridim para modelizar el comportamiento de las estructuras, por lo que ha sido necesario familiarizarse con dicho código computacional. Se han hecho las consideraciones específicas del diseño y se ha procedido al desarrollo y análisis de las estructuras en el programa ED-Tridim. Se han extraído los resultados numéricos y se han analizado y comparado. Finalmente se han puntualizado las conclusiones sobre el estudio realizado y se han sugerido algunas líneas de trabajo futuro para enriquecerlo.

INDICE GENERAL

INDICE	4
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	7
1.1 MOTIVACIÓN	7
1.2 OBJETIVOS	8
1.3 CONTENIDOS DEL DOCUMENTO	8
CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	9
2.1 FUNCIONAMIENTO SIMPLIFICADO DE UN RED CELULAR.....	9
2.2 EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LA TELEFONÍA MÓVIL.....	13
2.3 ESTACIÓN BASE TELEFONÍA MÓVIL.....	17
2.4 TORRES SOPORTE DE TELEFONÍA MÓVIL	20
2.4.1 Tipos de torre soporte	20
2.4.1.1 Torres autosoportada	20
2.4.1.2 Torres arriostradas o atirantadas	22
2.4.1.3 Torres monopolo o tubular	23
2.4.2 Componentes y generalidades de torres	24
2.4.2.1 Estructura principal	24
2.4.2.2 Escalera de acceso	24
2.4.2.3 Sistema de seguridad	25
2.4.2.4 Guía-ondas	26
2.4.2.5 Plataformas de trabajo y/o descanso	26
2.4.2.6 Brazo anti-torsión	27
2.4.2.7 Sistema protección contra descargas	27
2.4.2.8 Sistema de señalización nocturno o balizamiento nocturno	27
2.4.2.9 Balizamiento diurno	28
2.4.2.10 Mimetizaciones	28
2.4.2.11 Conexión a red de tierras	30
2.4.2.12 Protección contra la corrosión	31
2.4.2.13 Cimentación	33
2.4.3 Diseño de torres	35
2.5 PROGRAMA CÁLCULO ESTRUCTURAS: ED-TRIDIM	35
2.5.1 Generalidades	35
2.5.2 Análisis de una estructura	36

CAPITULO III: APLICACIÓN DEL CÓDIGO TÉCNICO DE EDIFICACIÓN (CTE) A TORRES DE TELEFONÍA MÓVIL 41

3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS	41
3.2 ACERO ESTRUCTURAL	42
3.3 ACCIONES SOBRE TORRES	44
3.3.1 Clasificaciones y definiciones.....	44
3.3.2 Valor característico de las acciones.....	44
3.3.2.1 Acciones variables (Q).....	45
3.3.2.2 Acciones permanentes (Q).....	48
3.3.2.3 Acciones accidentales (A).....	53

CAPITULO IV: DISEÑO Y ANÁLISIS DE TORRE DE TELEFONÍA MÓVIL AUTOSOPORTADA DE CELOSÍA 56

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	56
4.2 CÁLCULO DE CARGAS	57
4.2.1 Cargas debido a las antenas	58
4.2.2 Cargas debido acción variable: viento	60
4.3 DISEÑO ED-TRIDIM	66
4.4 RESULTADOS	70
4.4.1 Desplazamientos	70
4.4.2 Reacciones en apoyos.....	71
4.4.3 Comprobación límite elástico	72

CAPITULO V: DISEÑO Y ANÁLISIS DE TORRE DE TELEFONÍA MÓVIL MONOPOLO O TUBULAR..... 75

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	75
5.2 CÁLCULO DE CARGAS	76
5.2.1 Cargas debido a las antenas	76
5.2.2 Cargas debido acción variable: viento	77
5.3 DISEÑO ED-TRIDIM	80
5.4 RESULTADOS	82
5.4.1 Desplazamientos	82
5.4.2 Reacciones en apoyos.....	83
5.4.3 Comprobación límite elástico	83

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTUROS..... 85

6.1 CONCLUSIONES	85
------------------------	----

6.2 TRABAJOS FUTUROS 86

BIBLIOGRAFÍA..... 87

ANEXOS..... 88

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

El campo de las telecomunicaciones, en especial el de la telefonía móvil ha sufrido un desarrollo espectacular, tanto a nivel tecnológico como a nivel de usuarios.

Por una parte el desarrollo y crecimiento en la sociedad, o lo antes llamado nivel de usuarios, que podemos observar a diario, la imposibilidad de concebir la sociedad sin la utilización del teléfono móvil. La posibilidades que hoy día nos ofrece esta tecnología, de poder conectar a una o varias personas en cualquier parte del mundo instantáneamente es un atractivo casi irrechazable en el siglo XXI y es uno de los principales motivos para ahondar en este campo y desarrollar este proyecto.

Por el otro lado, el avance a nivel tecnológico, se comenzó aproximadamente hace 10 años con un servicio únicamente comunicativo a nivel de voz y años después ha avanzado hasta la transferencia de paquetes de datos instantáneos, que se reflejan en conexiones a redes desde cualquier terminal y conexiones de tercera generación, es decir, además de voz, también de vídeo en tiempo real.

Todo lo anteriormente expuesto, se consigue a través de una infraestructura desarrollada por cada operador de telefonía. A través de ésta, se creó un campo de cobertura a lo largo del territorio deseado, mediante las llamadas estaciones base.

Sin lugar a dudas uno de los principales componentes de dichas estaciones base de telefonía móvil, son las torres o estructuras sobre las cuales se instalan los distintos equipos que permiten poner toda la tecnología en servicio. Estas estructuras suelen ser de dos tipos, las utilizadas a nivel del suelo, como son las torres de gran altura, desde los 15 hasta los 50 m. y las situadas a niveles superiores, como por ejemplo azoteas o terrazas, donde se utilizan estructuras metálicas de distintas alturas hasta unos 8-10 m.

Debido a motivos como los expuestos anteriormente y al continuo desarrollo de este importante campo, se justifica la necesidad de estudios como el realizado en este proyecto fin de carrera.

1.2 OBJETIVOS

La realización del proyecto tiene como *objetivo general*:

- ❑ Análisis comparativo entre estructuras de celosía y estructuras tubulares aplicadas al diseño de una torre de telefonía móvil.

Las dos tipologías estructurales han sido seleccionadas por ser éstas las más comunes para la aplicación considerada en el sector de las telecomunicaciones.

Para la consecución del mencionado objetivo general ha sido necesario acometer los siguientes *objetivos específicos*:

- Revisión de bibliografía para proporcionar un conocimiento de la telefonía móvil desde un punto de vista teórico.
- Estudio del Código Técnico de Edificación (CTE) en el apartado de Seguridad Estructural de Acciones en la Edificación.
- Familiarización con el programa de cálculo estructural ED-Tridim.
- Diseño y análisis de la torre de telefonía en estructura de celosía, usando el programa ED-Tridim.
- Diseño y análisis de la torre de telefonía en estructura tubular, usando el programa ED-Tridim.
- Conclusión correspondiente al estudio realizado y recomendaciones para trabajos futuros.

1.3 CONTENIDO DEL DOCUMENTO

El presente documento consta de fundamentalmente de seis (6) capítulos, con el contenido que se describe a continuación:

- ❑ **Capítulo I:** Contiene una descripción de la motivación y objetivos del proyecto.
- ❑ **Capítulo II:** Contiene una descripción teórica tanto de la telefonía móvil como los tipos de estructuras portadoras de antenas utilizadas para ese fin.
- ❑ **Capítulo III:** Aplicación de la Norma de Seguridad en el Edificación a torres de telecomunicaciones.
- ❑ **Capítulo IV:** Contiene análisis y diseño de una torre de celosía de 30.00 del fabricante MADE.
- ❑ **Capítulo V:** Contiene análisis y diseño de una torre tubular de 30.00 del fabricante SEMI.
- ❑ **Capítulo VI:** Contiene las conclusiones obtenidas y los posible trabajos futuros.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

Los teléfonos celulares han revolucionado el área de las comunicaciones, redefiniendo cómo percibimos las comunicaciones de voz. Tradicionalmente, los teléfonos celulares se mantuvieron fuera del alcance de la mayoría de los consumidores debido a los altos costos involucrados.

Como resultado, las compañías proveedoras de servicios invirtieron tiempo y recursos en encontrar nuevos sistemas de mayor capacidad, y por ende, menor costo. Los sistemas celulares se están beneficiando de estas investigaciones y han comenzado a desarrollarse como productos de consumo masivo.

La telefonía celular es un sistema de comunicación telefónica totalmente inalámbrica. Se verá, como los sonidos se convierten en señales electromagnéticas, que viajan a través del aire, siendo recibidas y transformadas nuevamente en mensajes. Inicialmente los celulares eran analógicos. Se evaluarán las razones por la cual hubo una necesaria migración de estos sistemas a sistema digital.

La nueva revolución que implementa el uso social de celulares genera ventajas y al mismo tiempo desventajas. La accesibilidad al nuevo medio de comunicación, en un fuerte aumento en los últimos años, propone un contacto constante entre los ciudadanos. En este punto surge el dilema o las distintas interpretaciones sobre si el nuevo método comunicativo es positivo o negativo.

2.1 FUNCIONAMIENTO SIMPLIFICADO DE UNA RED CELULAR

La red celular se puede dividir en los siguientes conceptos para un explicación teórica simplificada:

a) Células

El teléfono celular estándar de la primera generación estableció un rango de frecuencias entre los 824 Megahertz y los 894 para las comunicaciones analógicas.

Para enfrentar la competencia y mantener los precios bajos, este estándar estableció el concepto de dos portadores en cada mercado, conocidos como portadores A y B. A cada portador se le da 832 frecuencias de voz, cada una con una amplitud de 30 Kilohertz. Un par de frecuencias (una para enviar y otra para recibir) son usadas para proveer un canal dual por teléfono. Las frecuencias de transmisión y recepción de cada canal de voz están separadas por 45 Megahertz. Cada portador también tiene 21 canales de datos para usar en otras actividades.

La genialidad del teléfono celular reside en que una ciudad puede ser dividida en pequeñas "células" (o celdas), que permiten extender la frecuencia por toda una ciudad. Esto es lo que permite que millones de usuarios utilicen el servicio en un territorio amplio sin tener problemas.

Se puede dividir un área (como una ciudad) en células. Cada célula es típicamente de un tamaño de 10 millas cuadradas (unos 26Km²). Las células se imaginan como unos hexágonos en un campo hexagonal grande.

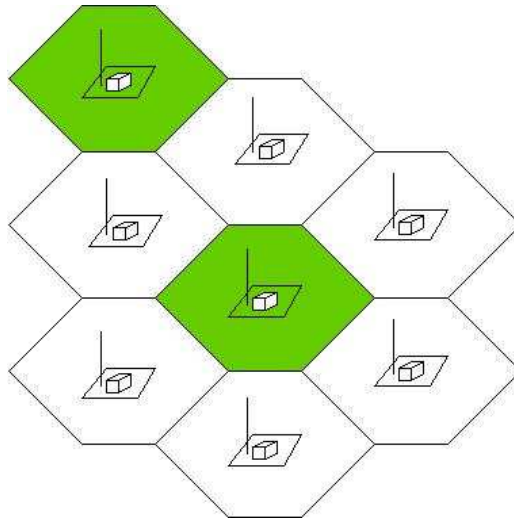


Fig 2.1 Área dividida en células

Sin embargo, el tamaño de las células puede variar mucho dependiendo del lugar en que se encuentre. Las estaciones de base se separan entre 1 a 3 Km. en zonas urbanas, aunque pueden llegar a separarse por más de 35Km en zonas rurales.

En zonas muy densamente pobladas o áreas con muchos obstáculos (como ser edificios altos), las células pueden concentrarse en distancias cada vez menores. Algunas tecnologías, como los PCS (Personal Communication Services), requieren células muy cercanas unas de otras debido a su alta frecuencia y bajo poder en el que operan.

Los edificios pueden, a su vez, interferir con el envío de las señales entre las células que se encuentren más lejanas, por lo que algunos edificios tienen su propia "microcélula." Los subterráneos son típicos escenarios donde una microcélula se hace necesaria. Microcélulas pueden ser usadas para incrementar la capacidad general de la red en zonas densamente pobladas como ser los centros capitalinos.

Debido a que los teléfonos celulares y las estaciones de base utilizan transmisores de bajo poder, las mismas frecuencias pueden ser reutilizadas en células no adyacentes.

b) Celdas

Cada celda en un sistema análogo utiliza un séptimo de los canales de voz disponibles. Eso es, una celda, más las seis celdas que la rodean en un arreglo hexagonal, cada una utilizando un séptimo de los canales disponibles para que cada celda tenga un grupo único de frecuencias y no haya colisiones entre células adyacentes.

Esta configuración puede verse en forma gráfica en la siguiente figura:

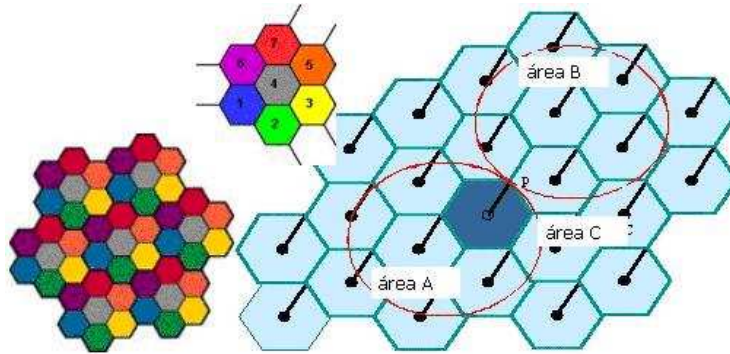


Fig 2.2 Celda formada por células

De esta forma, en un sistema analógico, en cualquier celda pueden hablar 59 personas en sus teléfonos celulares al mismo tiempo. Con la transmisión digital, el número de canales disponibles aumenta. Por ejemplo el sistema digital TDMA puede acarrear el triple de llamadas en cada celda, alrededor de 168 canales disponibles simultáneamente.

Cada célula tiene una estación base que consta de una torre y un pequeño edificio en donde se tiene el equipo de radio. Cada célula utiliza un séptimo de los 416 canales duales de voz. Dejando entonces a cada célula aproximadamente los 59 canales disponibles nombrados anteriormente.

Si bien los números pueden variar dependiendo de la tecnología usada en el lugar, las cantidades sirven para mostrar cómo funciona esta tecnología; que en caso de tratarse de una generación más moderna, puede de todas formas extrapolarse directamente.

Los teléfonos celulares poseen unos transmisores de bajo poder dentro de ellos. Muchos teléfonos celulares tienen 2 fuerzas de señal: 0.6 Watts y 3 Watts (como comparación, la mayoría de los radios de onda corta transmiten a 5 Watts). La estación base también transmite a bajo poder. Los transmisores de bajo poder tienen 2 ventajas:

El consumo de energía del teléfono, que normalmente opera con baterías, es relativamente bajo. Esto significa que bajo poder requiere baterías pequeñas, y esto hace posible que existan teléfonos que caben en la mano. A su vez aumenta en forma considerable el tiempo en que se puede usar el teléfono entre carga y carga de la batería.

c) Antenas

Las transmisiones de las estaciones base y de los teléfonos no alcanzan una distancia más allá de la célula. Es por esto que en la figura de arriba en cada celda se pueden utilizar las mismas frecuencias sin interferir unas con otras.

Las transmisiones de la base central y de los teléfonos en la misma celda no salen de ésta. Por lo tanto, cada celda puede reutilizar las mismas 59 frecuencias a través de la ciudad.

La tecnología celular requiere un gran número de estaciones base para ciudades de cualquier tamaño. Una ciudad típica grande puede tener cientos de torres emisoras. Pero debido a que hay tanta gente utilizando teléfonos celulares, los costos se mantienen bajos para el usuario. Cada portador en cada ciudad tiene una oficina central llamada MTSO (PSTN en el diagrama siguiente). Esta oficina maneja todas las conexiones telefónicas y estaciones base de la región.



Fig 2.3 Típica torre de transmisión de telefonía móvil

Cuando el usuario desea realizar una llamada, el teléfono celular envía un mensaje a la torre solicitando una conexión a un número de teléfono específico. Si la torre dispone de los suficientes recursos para permitir la comunicación, un dispositivo llamado "switch" conecta la señal del teléfono celular a un canal en la red de telefonía pública. La llamada en este momento toma un canal inalámbrico así como un canal en la red de telefonía pública que se mantendrán abiertos hasta que la llamada se concluya.



Fig 2.4 Diagrama simplificado funcionamiento telefonía móvil

Digamos que usted tiene un celular, lo enciende, y alguien trata de llamarle. La MTSO recibe la llamada, y trata de encontrarlo. Desde los primeros sistemas la MTSO lo encontraba activando su teléfono (utilizando uno de los canales de control, ya que su teléfono se encuentra siempre escuchando) en cada célula de la región hasta que su teléfono respondiera. Entonces la estación base y el teléfono decidirán cuál de los 59 canales en su teléfono celular usará. Ahora estará conectado a la estación base y puede empezar a hablar y escuchar. A medida que usted se mueva en la célula, la estación base notará que la fuerza de su señal disminuye. Entretanto, la estación base de la célula hacia la que se está moviendo (que está escuchando la señal) será capaz de notar que la señal se hace más fuerte.

Las dos estaciones base se coordinan a sí mismas a través del MTSO, y en algún punto su teléfono obtiene una señal que le indica que cambie de frecuencia. Este cambio hace que su teléfono mute su señal a otra célula. En sistemas modernos los teléfonos esperan una señal de identificación del sistema (IDS) del canal de control cuando se encienden. El teléfono también transmite una propuesta de registro y la red mantiene unos datos acerca de su ubicación en una base de datos (de esta forma es que la MTSO sabe en que célula se encuentra si quiere timbrar su teléfono). A medida que se mueve entre células, el teléfono detecta los cambios en la señal, los registra y compara para con los de la nueva célula cuando cambia de canal. Si el teléfono no puede hallar canales para escuchar se sabe que está fuera de rango y muestra un mensaje de "sin servicio".

Éste es, en forma bastante simplificada, el funcionamiento de la telefonía celular; abarcando desde el aspecto teórico en la división de las zonas geográficas en células, hasta el intercambio de ondas electro magnéticas necesario para establecer una sencilla comunicación entre dos teléfonos celulares. Si bien puede enfocarse el tema de manera mucho más técnica, deteniéndose más en aspectos de frecuencia y amplitud de las ondas por ejemplo, prefiero darle un enfoque más general, dando sí algunos datos técnicos específicos que considero de mayor relevancia para el entendimiento general del tema

2.2 EVOLUCIÓN TÉCNOLÓGICA DE LA TELEFONÍA MÓVIL

La evolución de la telefonía móvil, se divide en generaciones, cada una corresponde que los avances que esta conlleva. Se definen a continuación como las siguientes;

✓ GENERACIÓN 0 (0G)

0G representa a la telefonía móvil previa a la era celular. Estos teléfonos móviles eran usualmente colocados en autos o camiones, aunque modelos en portafolios también eran realizados. Por lo general, el transmisor (Transmisor-Receptor) era montado en la parte trasera del vehículo y unido al resto del equipo (el dial y el tubo) colocado cerca del asiento del conductor.

Eran vendidos a través de WCCs (Empresas Telefónicas alámbricas), RCCs (Empresas Radio Telefónicas), y proveedores de servicios de radio doble vía. El mercado estaba compuesto principalmente por constructores, celebridades, etc.

Esta tecnología, conocida como Autoradiopuhelin (ARP), fue lanzada en 1971 en Finlandia; conocido ahora como el país con la primera red comercial de telefonía móvil.

✓ GENERACIÓN 1 (1G)

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, si bien proliferó durante los años 80. Introdujo los teléfonos "celulares", basados en las redes celulares con múltiples estaciones de base relativamente cercanas unas de otras, y protocolos para el "traspaso" entre las celdas cuando el teléfono se movía de una celda a otra. La transferencia analógica y estrictamente para voz son características identificatorias de la generación.

Con calidad de enlaces muy reducida, la velocidad de conexión no era mayor a (2400 bauds). En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja

capacidad (Basadas en FDMA, Frequency Division Multiple Access), lo que limitaba en forma notable la cantidad de usuarios que el servicio podía ofrecer en forma simultánea ya que los protocolos de asignación de canal estáticos padecen de ésta limitación.

Con respecto a la seguridad, las medidas preventivas no formaban parte de esta primitiva telefonía celular. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System), desarrollada principalmente por Bell. Si bien fue introducida inicialmente en los Estados Unidos, fue usada en otros países en forma extensiva. Otro sistema conocido como Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS) fue introducido en el Reino Unido y muchos otros países.

Si bien había diferencias en la especificación de los sistemas, eran conceptualmente muy similares. La información con la voz era transmitida en forma de frecuencia modulada al proveedor del servicio. Un canal de control era usado en forma simultánea para habilitar el traspaso a otro canal de comunicación de serlo necesario. La frecuencia de los canales era distinta para cada sistema. MNT usaba canales de 12.5KHz, AMPS de 30KHz y TACS de 25KHz.

A su vez, el tamaño de los aparatos era mayor al de hoy en día; fueron originalmente diseñados para el uso en los automóviles. Motorola fue la primera compañía en introducir un teléfono realmente portátil.

Estos sistemas (NMT, AMPS, TACS, RTMI, C-Netz, y Radiocom 2000) fueron conocidos luego como la Primera Generación (G1) de Teléfonos Celulares.

En Setiembre de 1981 la primera red de telefonía celular con roaming automático comenzó en Arabia Saudita; siendo un sistema de la compañía NMT. Un mes más tarde los países Nórdicos comenzaron una red NMT con roaming automático entre países.

✓ GENERACIÓN 2 (2G)

Si bien el éxito de la 1G fue indiscutible, el uso masivo de la propia tecnología mostró en forma clara las deficiencias que poseía. El espectro de frecuencia utilizado era insuficiente para soportar la calidad de servicio que se requería. Al convertirse a un sistema digital, ahorros significativos pudieron realizarse. Un número de sistemas surgieron en la década del 90' debido a estos hechos, y su historia es tan exitosa como la de la generación anterior. La Segunda Generación (2G) de telefonía celular, como ser GSM, IS-136 (TDMA), iDEN and IS-95 (CDMA) comenzó a introducirse en el mercado.

La primera llamada digital entre teléfonos celulares fue realizada en Estados Unidos en 1990. En 1991 la primera red GSM fue instalada en Europa.

La generación se caracterizó por circuitos digitales de datos conmutados por circuito y la introducción de la telefonía rápida y avanzada a las redes. Usó a su vez acceso múltiple de tiempo dividido (TDMA) para permitir que hasta ocho usuarios utilizaran los canales separados por 200MHz. Los sistemas básicos usaron frecuencias de banda de 900MHz, mientras otros de 1800 y 1900MHz. Nuevas bandas de 850MHz fueron agregadas en forma posterior. El rango de frecuencia utilizado por los sistemas 2G coincidió con algunas de las bandas utilizadas por los sistemas 1G (como a 900Hz en Europa), desplazándolos rápidamente.

La introducción de esta generación trajo la desaparición de los "ladrillos" que se conocían como teléfonos celulares, dando paso a pequeñísimos aparatos que entran en la palma de la mano y oscilan entre los 80-200gr. Mejoras en la duración de la batería, tecnologías de bajo consumo energético.

EL sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y se emplea en los sistemas de telefonía celular actuales. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón. Se encontrará información detallada de los protocolos en la sección correspondiente más adelante.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información por voz más altas, pero limitados en comunicación de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares, como datos, fax y SMS (Short Message Service). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communication Services).

Una vez que la segunda generación se estableció, las limitantes de algunos sistemas en lo referente al envío de información se hicieron evidentes. Muchas aplicaciones para transferencia de información eran vistas a medida que el uso de laptops y del propio Internet se fueron popularizando. Si bien la tercera generación estaba en el horizonte, algunos servicios se hicieron necesarios previa a su llegada.

El General Packet Radio Service (GPRS) desarrollado para el sistema GSM fue de los primeros en ser visto. Hasta este momento, todos los circuitos eran dedicados en forma exclusiva a cada usuario. Este enfoque es conocido como "Circuit Switched", donde por ejemplo un circuito es establecido para cada usuario del sistema. Esto era ineficiente cuando un canal transfería información sólo en un pequeño porcentaje. El nuevo sistema permitía a los usuarios compartir un mismo canal, dirigiendo los paquetes de información desde el emisor al receptor. Esto permite el uso más eficiente de los canales de comunicación, lo que habilita a las compañías proveedoras de servicios a cobrar menos por ellos.

Aún más cantidad de mejoras fueron realizadas a la tasa de transferencia de información al introducirse el sistema conocido como EDGE (Enhanced Data rates aplicado a GSM Evolution). Éste básicamente es el sistema GPRS con un nuevo esquema de modulación de frecuencia.

Mientras GPRS y EDGE se aplicaron a GSM, otras mejoras fueron orientadas al sistema CDMA, siendo el primer paso de CDMA a CDMA2000 1x.

2.5G provee algunos de los beneficios de 3G (por ejemplo conmutación de datos en paquetes) y puede usar algo de la infraestructura utilizada por 2G en las redes GSM and CDMA. La tecnología más comunmente conocida de 2.5G es GPRS (nombrada anteriormente), que provee transferencia de datos a velocidad moderada usando canales TDMA no utilizados en la red GSM. Algunos protocolos, como ser EDGE para GSM y CDMA2000 1x-RTT para CDMA, califican oficialmente como servicios "3G" (debido a que su tasa de transferencia de datos supera los 144 kbit/s), pero son considerados por la mayoría como servicios 2.5G (o 2.75G, que luce aún mas sofisticado) porque son en realidad varias veces más lentos que los servicios implementados en una red 3G.

Mientras los términos "2G" y "3G" están definidos oficialmente, no lo está "2.5G". Fue inventado con fines únicamente publicitarios.

✓ GENERACIÓN 3 (3G)

No mucho luego de haberse introducido las redes 2G se comenzó a desarrollar los sistemas 3G. Como suele ser inevitable, hay variados estándares con distintos competidores que intentan que su tecnología sea la predominante. Sin embargo, en forma muy diferencial a los sistemas 2G, el significado de 3G fue estandarizado por el proceso IMT-2000. Este proceso no estandarizó una tecnología sino una serie de requerimientos (2 Mbit/s de máxima tasa de transferencia en ambientes cerrados, y 384 kbit/s en ambientes abiertos, por ejemplo). Hoy en día, la idea de un único estándar internacional se ha visto dividida en múltiples estándares bien diferenciados entre sí.

Existen principalmente tres tecnologías 3G. Para Europa existe UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) usando CDMA de banda ancha (W-CDMA). Este sistema provee transferencia de información de hasta 2Mbps.

Están a su vez las evoluciones de CDMA2000. La primera en ser lanzada fue CDMA2000 1xEV-DO, donde EV-DO viene de Evolution Data Only. La idea atrás de este sistema era que muchas de las aplicaciones sólo requirieran conexión de datos, como sería el caso si se usara el celular para conectar una PC a Internet en forma inalámbrica. En caso de requerir además comunicación por voz, un canal 1X estándar es requerido. Además de usar tecnología CDMA, EV-DO usa tecnología TDMA para proveer de la velocidad de transferencia necesaria y mantener la compatibilidad con CDMA y CDMA2000 1X.

La siguiente evolución de CDMA2000 fue CDMA2000 1xEV-DV. Esto fue una evolución del sistema 1X totalmente distinto a CDMA2000 1xEV-DO, ofreciendo servicios totales de voz y datos. Este sistema también es compatible con CDMA y CDMA2000 1X y es capaz de ofrecer tasas de transferencia de 3.1Mbps.

Estos dos protocolos usaron lo que se conoce como FDD (Frequency Division Duplex), donde los links de ida y vuelta usan distintas frecuencias. Dentro de UMTS existe una especificación conocida como TDD (Time Division Duplex), donde los links poseen la misma frecuencia pero usan distintos segmentos de tiempo. Sin embargo, TDD no se implementará en los mercados por un tiempo.

Un tercer sistema 3G fue desarrollado en China que usa TDD. Conocido como TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA), usa un canal de 1.6MHz y fue pensado para que abarque el mercado Chino y de los países vecinos.

2.3 ESTACIÓN BASE DE TELEFONÍA MÓVIL

La estación base de telefonía móvil es uno de los elementos que conforma una de las partes fundamentales de la red de comunicación móvil.

Estas suelen situarse en lugares estratégicos que cada compañía selecciona para poder cubrir un cierto campo, en el cual están interesados puesto desde el se dará el servicio a sus clientes.

Las partes diferenciadas de una estación base, son las siguientes:

- ✓ Equipos: Parte fundamental de cada estación, son de distintos tipos y se podrían clasificar en:
 - ✓ Equipos radiofrecuencia, son la parte fundamental, generan las radiaciones necesarias de la tecnología correspondiente. Se clasifican en equipos indoor (interior), suelen ubicarse en recintos habilitados o casetas prefabricadas de fibra y equipos outdoor (exterior), suelen estar a la intemperie.

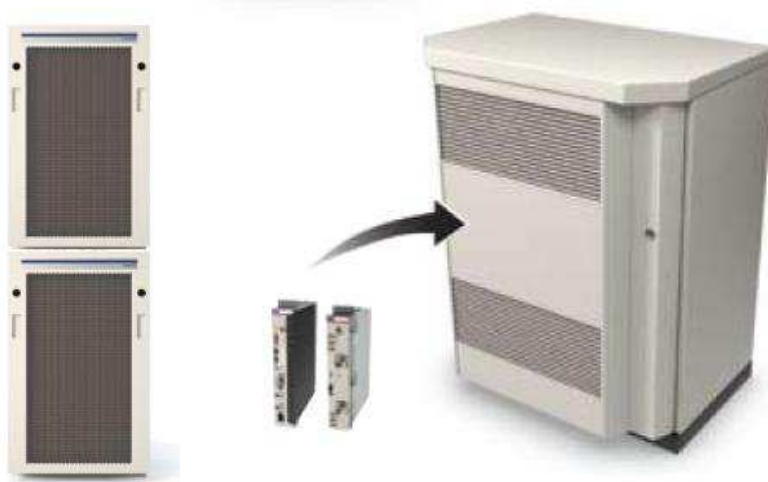


Fig 2.5 A la izquierda, equipos Ericsson RBS2216 (interior), a la derecha Ericsson 2106 (exterior)

- ✓ Antenas: Parte cuya misión es la transmisión de la ondas generadas por los equipos de radiofrecuencia. Se dividen en antenas:
 - Omnidireccionales, son buenas para cubrir áreas grandes, la cual la radiación trata de ser pareja para todos lados es decir cubre 360° .



Fig 2.6 Antena omnidireccional Kathrein 739 347

- Sectoriales, también llamadas antenas panel, las más utilizadas en la actualidad, radian tanto verticalmente como horizontalmente, cubren un ángulo horizontal que puede variar desde los 60° a los 120°, se utilizan para emitir en un espacio determinado.



Fig 2.7 Antena sectorial Kathrein 742 264

- Microondas o radioenlaces, se definen como sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas, son los encargados de la transmisión de datos de cada conexión. Existen distintos tamaños según el diámetro de la parábola que disponen, suelen ser desde 200mm hasta 1200mm en el ámbito de las estaciones base. A mayor parábola, mayor alcance.

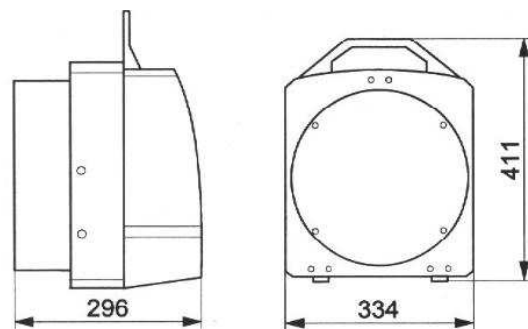


Fig 2.8 Radioenlace Ericsson 300mm

- ✓ Estructura: La otra parte diferenciada de la estación de telefonía móvil, se define como la estructura sobre la cual se colocan todos los elementos anterior. Suelen tener un altura considerable debido a la necesidad generada por la instalación de antenas y radioenlaces, y ejercen como soporte de todos estos.

Se utiliza como material fundamental en todas ellas el acero, normalmente suelen ir desde mástiles de 1,5 metros a las grandes torres que pueden alcanzar decenas de metros, pasando por todas las medidas que sean necesarias según necesidades.

Por normal general, se denomina mástil a la estructura de celosía o tubos de chapa de acero, arriostrada a tierra mediante cables tensados, y se denomina torre a la estructura de celosía sin cables de tensado.



Fig 2.9 Torre monopolo o tubular de operador

2.4 TORRES SOPORTE DE TELEFONÍA MÓVIL

Como se ha comentado anteriormente, estas estructuras pueden variar según las necesidades y las condiciones del sitio en donde se vaya a colocar.

Las torres de telefonía móvil generalmente se fabrican en secciones y se arman en el terreno izando con grúas cada sección vertical a su lugar y asegurándola mediante pernos, si la altura lo permite en ciertos casos pueden ser autoeregibles.

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

2.4.1 Tipos de torres soporte

Así, existen desde Torres Arriostradas (torres con tirantes), Torres Auto soportadas, monopolos, mástiles, entre otras, las cuales suelen estar compuestas por perfiles y ángulos de acero unidos por tornillos, pernos o remaches o por medio de soldadura. Estas estructuras podrán ser de

diversas alturas, dependiendo de la altura requerida para poder suministrar un correcto funcionamiento.

2.4.1.1 Torres autosportadas

Se definen como aquella estructura metálica autoestable reticulada que se puede soportar por sí misma, es decir no requiere de elementos externos para sostenerse como es el caso de las torres atirantadas, las cuales necesitan el caso de cable y/o riostras para mantenerse en pie.

Este tipo de torres están diseñadas como una solución para un alto rango de aplicaciones, debido a su reducido espacio y la gran altura, se utilizan desde los 12 metros a los 200m, como por ejemplo:

- Antenas telefonía móvil
- Repetidores FM
- Emisoras TV

Las torres autosportadas se dividen según el tipo de sección, en triangulares y cuadradas, estas a su vez se dividen en rectas y piramidales.



Fig 2.10 Torre autosportada de sección triangular



Fig 2.11 Torres autoportadas sección cuadrada tronco-piramidales



Fig. 2.12 Torres autoportadas sección cuadrada prismático-rectas

2.4.1.2 Torres arriostradas o atirantadas

Torre atirantada se denomina a aquella estructura metálica que requiere riostras para sustentarse, es decir necesita tirantes en cada de sus aristas, normalmente, a diferentes alturas para poder sustentarse en pie y los muertos (dados de hormigón o vigas metálicas) interactúan en relación directa a su peso respecto del equilibrio que debe existir para contrarrestar los diferentes factores que tratan de desestabilizarla.



Fig. 2.13 Torres atirantada en 4 puntos

La base de la torre transmitirá un esfuerzo de compresión donde se encuentra apoyada, y los tirantes transmitirán esfuerzos de tracción.

El rango de alturas de estas torres está comprendido entre los 45m. y los 200m.

Son más económicas que las torres autosoportadas y se implemente cuando el terreno disponible para su ubicación es amplio, ofreciendo una gran capacidad.



Fig. 2.14 Torres atirantada en múltiples puntos

2.4.1.3 Torres monopolo o tubular

Se trata de estructuras troncocónicas con sección poligonal y un determinado número de caras, realizadas con chapa plegada formando tubos cónicos de acero que encajan perfectamente unos sobre otros a fin de formar un polo estable.

Las alturas están comprendidas entre los 5m y los 50m, pudiendo llegar a alturas superiores.

La principal característica de este tipo de torres es su facilidad de instalación y que son instaladas en lugares donde se requiere conservar la estética y no causar impacto visual en exceso, a menudo se pintan de un color o se adornan para que permitan pasar desapercibidas. Para estas torres es necesario construir una cimentación adecuada para poder resistir los efectos de la misma.



Fig 2.15 Torre monopolo o tubular 30 m

2.4.2 Componentes y generalidades de torres

2.4.2.1 Estructura principal

Su principal función es proporcionar un soporte adecuado a todo tipo de antenas y componentes a instalar en las torres. Debe proporcionar la estabilidad y resistencia necesarias, y proporcionar la altura adecuada para que el campo de acción de los componentes de telecomunicación realicen su tarea y no se vea obstaculizado por otros elementos. Siempre buscando la solución más económica y ligera posible.

Esta conformado por las patas principales, cerramientos horizontales, cerramientos diagonales, cerramientos secundarios, placas de unión de cerramientos diagonales y secundarios, diafragma y tornillería.

Suelen estar realizadas de perfiles de acero laminado en caliente de diversos tipos (planchas de acero para la torre tipo monopolo), fabricados por la propias empresas o bien utilizando materiales prefabricados, estos perfiles están catalogados en la norma.



Fig 2.16 Izado torre celosía

2.4.2.2 Escalera de acceso

Son escaleras fijas que se encuentran situadas verticalmente a lo largo de la torre, mediante elemento de ensamblaje, y permiten el acceso a la torre a cualquier altura, para cualquier labor de mantenimiento o instalación. Pueden ser interior o en casos donde el tamaño de la torre no se suficiente esta se colocará en un lateral.

Están compuestas por peldaños de hierro redondo y por normativa han de tener estos una medida de 40cm.

Para estructuras que formen con la horizontal un ángulo menor de 30° y su paso sea inferior a 37cm se podrá utilizar el reticulado como escalera.

2.4.2.3 Sistema de seguridad

Por normativa en Prevención de Riesgos Laborales, toda torre debe estar provista de un sistema de seguridad o una línea de vida, a la cual toda persona que desee acceder debe utilizar, conectándose a él mediante su arnés o cinturón.

Existen varios tipos, pero el más utilizado en la actualidad por la operadoras de telefonía móvil, es el Gamesystem, este se conforma de un cable fiador de acero tendido a lo largo de la torre y conectándose a él mediante un carrito deslizante, que permite subir y bajar de la torre, pero ante un sobreesfuerzo instantáneo sufre un bloqueo, que evita la caída



Fig 2.17 Sistema seguridad Game-system



Fig 2.18 Placa identificación PRL Game-system

2.4.2.4 Guía ondas

Este elemento permite facilitar el recorrido de los cables que unen antenas y equipos a lo largo de las torres. Se ubican en posición horizontal, a lo largo de la torre.



Fig 2.19 Guía-ondas y escalera en torre de celosía

2.4.2.5 Plataforma de trabajo y/o descanso

Deben existir en toda torre unas plataformas de trabajo y de descanso a lo largo de esta, para la instalación y mantenimientos de todo tipo de elementos de telecomunicaciones. Se encuentran situadas a las alturas requeridas, en el caso de las plataformas de trabajo circundan todo el perímetro de la torre, es decir los 360°, para facilitar cualquier tipo de operación sobre esta. Por el contrario las plataformas de descanso, suelen tener un tamaño reducido, pues su misión es proporcionar un espacio al trabajador donde poder realizar un pausa, sin correr ningún riesgo, al subir o bajar de la torre. Su estructura suele estar fabricadas del material de la torre y se completa con una superficie de tramex. Se completan con puertas abatibles y barandillas de protección.



Fig 2.20 Plataforma de trabajo y descanso en torre tubular

2.4.2.6 Brazo anti-torsión

Este componente únicamente se utiliza en el caso de las torres atirantadas. Consiste en una estructura auxiliar sobre la torre cuya función es impedir la posible torsión, producida por el

efecto de las cables que sujetan la estructura, ya que la acción de estos tiende a desestabilizarla creando momentos torsores en los puntos de anclaje de la torre.

2.4.2.7 Sistema de protección contra descargas

La protección en una torre contra tormentas eléctricas en ningún caso puede ser absoluta, pero si que se puede realizar un protección adecuada basada en la experiencia adquirida con los años y por medio del conocimiento ecoestático del rayo.

La protección contra descargas eléctricas atmosféricas en la torres se efectúa mediante la colocación de pararrayos en la cúspide de la misma y un cable a lo largo de toda la longitud de la torre hasta la tierra. Aunque en la práctica suele ser más conveniente la utilización de la propia torre para llevar la energía del rayo hacia la tierra ya que es menor su inductancia.

Es importante una correcta protección ya que en el posible de que una descarga eléctrica atmosférica impactase en la torre, esta ha de poder conducir la mayoría de la corriente hacia la tierra y reducir al máximo el impacto de este sobre los equipos de transmisión.

2.4.2.8 Sistema de señalización nocturno o balizamiento nocturno

El balizamiento nocturno consiste en la instalación de un equipos de baliza en la cúspide de las torres y un equipo de reserva, tal y como obliga el reglamento de la O.A.C.I. (Organización Internacional de la Aviación Civil).

Su principal función es el impacto de aeronaves durante la noche o en situaciones de visibilidad reducida, se han de colocar en estructuras que superen los 25m.

Funcionan mediante una cédula que capta la luminosidad, y toma los valores, cuando esta es inferior al dato que tiene almacenado, automáticamente se activa.



Fig 2.21 Balizamiento nocturno en torre celosía

2.4.2.9 Balizamiento diurno

Para el balizamiento diurno se utilizará pintura acrílica, látex base agua o poliuretano en franjas de colores rojo y blanco alternados, cumpliendo así el reglamento de la O.A.C.I. (Organización Internacional de la Aviación Civil).

Este se ha de componer de 7 franjas, siendo 4 de estas rojas y la 3 restantes blancas. Por tanto, siempre se ha de iniciar con rojo y ha de terminar se con el mismo color.

Este tipo de balizamiento no es obligatorio para todas las torres, únicamente se aplicará en zonas dónde sea zona de paso de aeronaves y zonas colindantes.



Fig 2.22 Torre de celosía con balizamiento diurno

2.4.2.10 Mimetizaciones

En la actualidad además de la instalación de torres monopolo, se están instalando debido a la repercusión que está teniendo el tema de la radiaciones en cuanto a la salud, se está procediendo a instalar algunos adornos cuya misión es ocultar las antenas y equipos de transmisión, y no causar un fuerte impacto visual.

Se aprovecha estas pequeñas estructuras, para la instalación de carteles publicitarios, suelen se cilíndricos o triangulares, y suelen estar realizados de fibra de carbono, que permitan pasar las radiaciones que emiten las antenas a través de ellas.

Es muy importante tener en cuenta este tipo de objetos, a la hora de realizar el cálculo de estructuras puesto que aumenta el peso y resistencia al viento.



Fig.2.23 Mimetizado en torre monopolo o tubular



Fig.2.24 Mimetizado en torre celosía

2.4.2.11 Conexión a red de tierras

Mediante esta medida se consigue que la torres pueda enviar al sistema de tierras cualquiera de las posibles descargas eléctricas que pueda recibir, y reducir al máximo el impacto de estas sobre los equipos que trabajan en la estación base.

Se realiza soldando un cable de cobre o aluminio forrado a cada una de las patas de la torre y conectando dicho cable con la red de tierras. Es importante que el cable de tierra se encuentre forrado, ya que si no debido al entrar en contacto con el acero, formaría celda galvánica y en consecuencia el acero se corroe con el consiguiente deterioro y pérdida de propiedades de las estructura.



Fig 2.25 Conexión de torre celosía a red de tierras

2.4.2.12 Protección contra la corrosión

Resulta fundamental una correcta protección contra la corrosión en los elementos que configuran la totalidad de la torre, desde perfiles hasta soldaduras, pasando por tuercas, tornillos y demás accesorios, ya que la aparición de esta puede suponer la degradación de la estructura y sistemas con la correspondiente pérdida de producto y aumento del riesgo de accidentes.

La corrosión de estos elementos viene dada por el tipo de atmósfera que predomina en el lugar donde se hallen situadas. Siempre será necesario proteger los elementos de acero mediante un tratamiento superficial a base de cincado electrolítico consistente en la inmersión de todos sus elementos en zinc en estado de fusión con espesores que estarán determinados según la mayor o menos agresividad de la atmósfera que los envuelve, debiendo tomar mayores precauciones en la zona de ambiente más dañino como industrias, ciudades y costas marítimas, esto es, aplicando capas adicionales de pinturas protectoras que se adhieran al zinc.

La elección del galvanizado proporcionará las siguientes propiedades;

- *Mayor duración*, se acepta como regla general que la duración de la protección que proporcionan los recubrimientos galvanizados, en un ambiente determinado, es directamente proporcional, es espesor de los mismos.

- *Evita el mantenimiento*, la elevada duración de la protección que proporcionan los recubrimientos galvanizados, que supera frecuentemente la vida en servicio prevista para las instalaciones, hace innecesario, en la mayoría de los casos, el mantenimiento de las construcciones de acero galvanizado.
- *Bajo costo*; el costo que supone el galvanizado que, en muchas ocasiones, es inferior a otros posibles recubrimientos alternativos, unido a la elevada duración de estos, dan como resultado que este procedimiento sea el más económico de todos los conocidos para la protección a largo plazo de construcciones metálicas de acero.
- *Mayor resistencia*; el proceso de galvanización en caliente produce un recubrimiento de zinc que está unido metalúrgicamente al acero de base a través de una serie de capas de aleaciones zinc-hierro. No existe ningún otro recubrimiento que posea esa característica, que es la que confiere al acero galvanizado su elevada resistencia a golpes y a la abrasión, que es de gran importancia para evitar el deterioro de recubrimiento durante el manejo, transporte, almacenamiento y montaje del material galvanizado.
- *Recubrimiento integral*; debido al proceso de galvanizado mediante inmersión, la totalidad de la superficie de las mismas queda recubierta, tanto interior como exteriormente.
- *Fácil soldadura*, se pueden unir fácilmente elementos galvanizados mediante métodos de soldadura que se utilizan normalmente para el acero negro, como la soldadura eléctrica por arco (manual o automática), por resistencia, por inducción, etc. La única precaución a tener en cuenta es adecuar la técnica operatoria y los parámetros de soldeo a las condiciones particulares del material galvanizado.

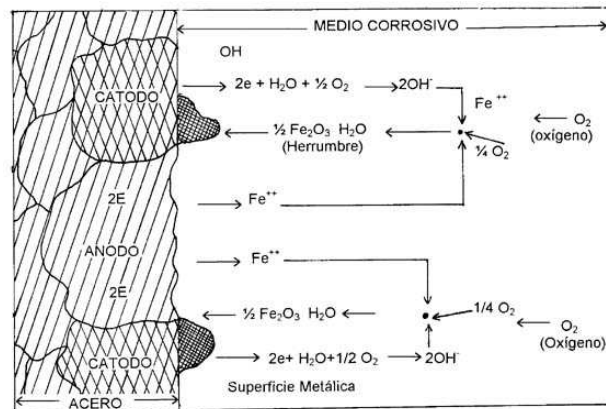


Fig 2.26 Proceso corrosión del acero.

2.4.2.13 Cimentación

La cimentación o anclaje necesario para implantar una torre autosoportada es de suma importancia, ya que de esta depende la seguridad de la torre, sobre todo el momento de vuelco y la resistencia a la fuerzas que presentan las cargas que soporta la torre (resistencia al viento) y del peso de toda la estructura.

Para la memoria de cálculo de la cimentación, se necesitan de los resultados de la mecánica de suelo del área donde se instalará la torre con el objeto de efectuar los cálculos más realistas posibles y en congruencia con la características el terreno.

El cimiento se define como aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas actuantes sobre la totalidad de la construcción al terreno.

Dado que la resistencia y la rigidez del terreno son, salvos casos exceptúales, muy inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta muy superior a la suma de áreas de todos los pilares. Esto conduce a que los cimientos sean en general piezas de volumen considerable, con respecto al volumen de las piezas de la estructura.

Los cimientos se construyen casi invariablemente en hormigón armado y, en general, se emplea en ellos hormigón de calidad relativamente baja, ya que generalmente no resulta económicamente interesante el empleo de hormigones de resistencia mayores.

Las estructuras de cimentación son, con frecuencia, elementos tridimensionales, e incluso cuando están constituidas por elementos lineales, suelen ser altamente hiperestáticas. Su cálculo preciso resulta muy complejo, por lo que los programas de ordenador han venido a suministrar una gran ayuda para bastantes casos, pero no debe olvidarse que el conocimiento todavía imperfecto de las características del suelo, de las del material del hormigón y de las piezas de hormigón armado, hacen que sea difícil obtener esa precisión.



Fig 2.27 Realización cimentación para torre monopolo.

Por ello, a la hora de proyectar cimientos, se ha de ser espacialmente cuidadoso con los métodos de cálculo que se elijan y especialmente prudente al aplicarlos. En ese sentido no debe olvidarse que las cimentaciones usualmente suelen estar ocultas y formadas por piezas generalmente rígidas comparadas con las de la estructura.

Por tanto, el fenómeno de la fisuración, que es un excelente síntoma de aviso propio de las estructuras de hormigón, no es observable en los cimientos. Tampoco las deformaciones de un cimiento excesivamente solicitado suelen ser tan importantes como para constituir un síntoma visible. Todo ellos acentúa la necesidad de una especial prudencia y cuidado, tanto en la concepción como en los detalle a proyectar y construir cimentaciones.

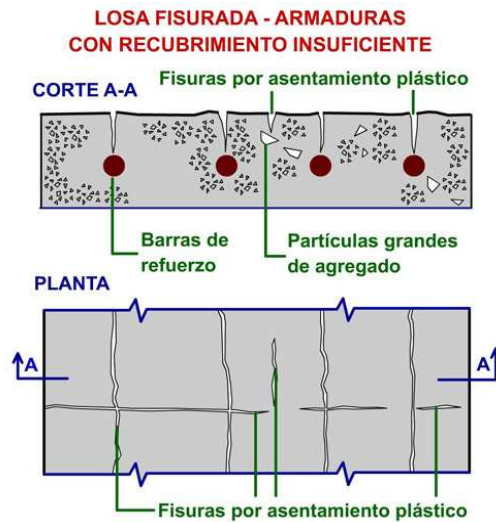


Fig 2.28 Proceso de fisuración del hormigón

El primer paso que se ha de dar a la hora de calcular la cimentación adecuada para la torre de telefonía móvil que se está estudiando consiste en aclarar que el cálculo de esta cimentación no pretende ser un cálculo al detalle, entre otro motivos porque se carece de la información necesaria para poder alcanzar un valor exacto de las dimensiones necesarias del apoyo en cuestión. En particular se requeriría conocer la características del suelo en el que se va a implantar la estructura y hacer un estudio geotécnico, dónde se puedan facilitar datos, como resistencia del suelo, tensiones admisibles, la naturaleza del terreno, etc.

Por lo tanto, la finalidad de este apartado es la de hacer una primera aproximación a la dimensiones de la cimentación correspondiente.

Las cimentaciones se pueden clasificar según;

✓ Cimentaciones superficiales;

Se trata de las cimentaciones que se encuentran al nivel inferior de la estructura o próximo a este, el terreno presenta características adecuadas desde los puntos de vista técnicos y económicos para cimentar sobre él.

Las cimentaciones superficiales o directas engloban las zapatas en general y las losas de cimentación.

Los distintos tipos de cimentación superficial depende de las cargas que sobre ellos actúan, esto es;

- Puntuales – Zapatas aisladas
- Lineales – Zapatas corridas
- Superficiales – Losas de cimentación

Las zapatas son el tipo más frecuente y se emplean cuando el terreno tiene, ya en su superficie, una resistencia media o alta en relación con las cargas de la estructura.



Fig 2.29 Zapata en construcción para torre autosoportada

Las losas se emplean en zonas menos resistente o menos homogéneas o bajo estructuras más pesadas y menos deformables, con ellas aumenta la superficie de contacto y se reducen los asientos diferenciales.

Las losas son más económicas que las zapatas si la superficie total de estas es superior a la mitad de la superficie cubierta por la estructura, debido al menos espesor del hormigón y menos cuantía de armaduras, a una excavación más sencilla y a un ahorrado de encofrados.

✓ Cimentaciones profundas;

Si el nivel apto para cimentar está muy por debajo de la zona inferior de la estructura, la excavación necesaria para proceder a una cimentación directa sería muy costosa y se recurre a una cimentación profunda, constituida por pilotes o pozos de cimentación.

Los pilotes se emplean, en general, cuando el terreno resistente está a profundidades superiores a los 5 o 6 metros, cuando el terreno es poco consistente hasta una gran profundidad, cuando existe una gran cantidad de agua en el terreno, y cuando deben resistir acciones horizontales de cierta importancia.

2.4.3 Diseño de torres

Para proyectar una estructura de soporte de las antenas se han de tener en cuenta una serie de factores de gran importancia para un correcto cálculo de los parámetros de diseño.

1. Ubicación geográfica de la estación base.
2. Altura de la torre necesaria y área existente de la estación base.
3. Velocidad del viento según la región.
4. Cargas a soportar por la estructura.
5. Altura de la cargas anterior sobre la torre.
6. Accesorios y ubicación sobre la torre.
7. Normativa a aplicar para su cálculo y diseño.
8. Memoria de cálculo estructural y de cimentación.
9. Análisis estructural.
10. Anclaje al terreno o cimentación.

2.5 PROGRAMA DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS ED-TRIDIM

2.5.1 Generalidades

Este software permite realizar el cálculo de vigas y pórticos hiperestáticos en dos o tres dimensiones, mediante el uso de métodos matriciales.

Este programa está organizado en cuatro módulos diferentes:

- **TEORÍA:** éste módulo está formado por un conjunto de lecciones teóricas que pueden ser consultadas por el usuario siempre que lo desee; las lecciones no pretenden ser exhaustivas sino tan sólo una ayuda para recordar conceptos básicos.
- **BIBLIOTECA:** éste módulo permite introducir los datos que definen la estructura a analizar, es decir, la geometría, las propiedades de los materiales, las condiciones de contorno y las cargas que la solicitan; sirve igualmente tanto para crear nuevos problemas como para modificar los existentes.
- **EJEMPLOS:** en este módulo, el ordenador realiza paso a paso un problema sin que el usuario tenga que intervenir. El ordenador se convierte en guía, realizando todos los pasos, y deteniéndose en los aspectos más interesantes de cada etapa.
- **EJERCICIOS:** éste es el último módulo, y a diferencia del anterior, se hace necesaria la participación activa del usuario. El ordenador asiste al usuario en el dibujo de las leyes de esfuerzos de la estructura.

2.5.2 Análisis de una estructura

Como se ha dicho con anterioridad, el módulo Biblioteca es el que permite generar una estructura de cualquier tipo. Al iniciar la sesión e introducirse en el módulo Biblioteca aparece la siguiente ventana:

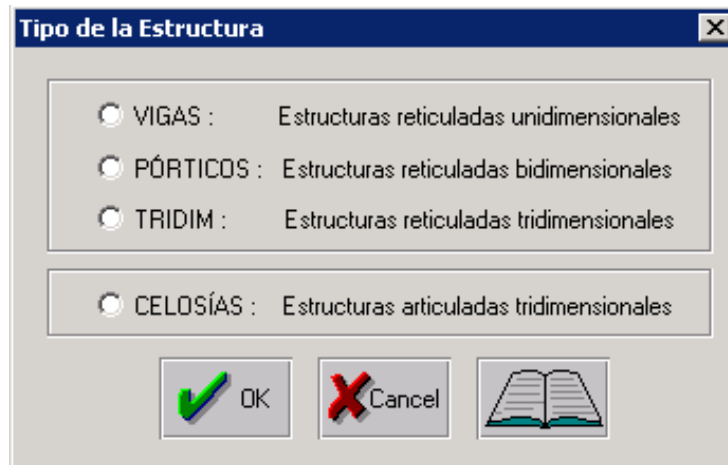


Figura 2.30 Ventana para seleccionar el tipo de estructura.

El usuario debe indicar el tipo de estructura que desea crear:

- ✓ VIGAS: permite crear vigas planas unidimensionales.
- ✓ PÓRTICOS: permite crear estructuras bidimensionales, ya sean articuladas o reticuladas.
- ✓ TRIDIM: permite realizar estructuras tridimensionales reticuladas.
- ✓ CELOSÍA: en este último se pueden crear estructuras articuladas tridimensionales.

A continuación hay que dar las cotas espaciales máximas y mínimas de la estructura que se va a crear. Así mismo se puede crear una rejilla de cualquier paso, para poder seleccionar con mayor comodidad los puntos de la estructura. Una vez definidas las características generales de la estructura, se procede a la definición concreta de cada uno de los componentes de ésta.

La barra de botones que aparece es la siguiente:



Figura 2.31 Barra de botones del módulo Biblioteca.

A continuación se van a enumerar uno a uno los pasos necesarios para definir la estructura correctamente. Estos sirven igualmente para cualquier tipo de estructura:

- ✓ Generación de los nodos: En primer lugar es necesario identificar cuáles son los nodos que componen la estructura; existen nodos de dos tipos diferentes rígidos articulados,

por lo tanto además de la localización habrá que tener cuidado en seleccionar el tipo de nodo adecuado. La selección del tipo de nodo se hace teniendo presionado o no el botón de nodo articulado.

- ✓ Generación de secciones y materiales: A continuación se tienen que identificar las propiedades del material y, o bien su geometría (en caso de ser una sección rectangular), o bien su momento de inercia. Una vez que se ha definido un material, en la parte superior izquierda del cuadro de dibujo aparece un icono con la forma del tipo de sección elegida para ese material; en el caso de generar varios materiales habrá varios iconos, cada uno correspondiente a un material. Pinchando con el ratón sobre dicho icono, se pueden ver las propiedades. Lógicamente el icono puede tener varias formas según se haya definido una sección arbitraria, una sección cuadrada, o una sección que va a trabajar solo en axil.
- ✓ Generación de barras: una vez definidos el material o los materiales, se tienen que identificar las barras. Esta operación se realiza pinchando en los nodos que serán origen y final de la barra en cuestión. Cuando se selecciona un nodo éste cambia de color; de esta manera se puede saber si se está realizando bien la operación.
- ✓ Generación de los apoyos: éste es el último apartado en la generación de la geometría de la estructura. En primer lugar se activa el icono de apoyos, después se selecciona el nodo en el que se va a colocar dicho apoyo, y a continuación, aparecerá una ventana en la cual se tiene que indicar el tipo de apoyo que se quiere imponer.

Una vez concluidos todos estos pasos, conviene salvar la estructura; esta operación se realiza como en cualquier programa que trabaja bajo Windows. En las figuras 3 y 4 se muestran, respectivamente, los cuadros de diálogos que aparecen al definir las secciones y al definir los apoyos.

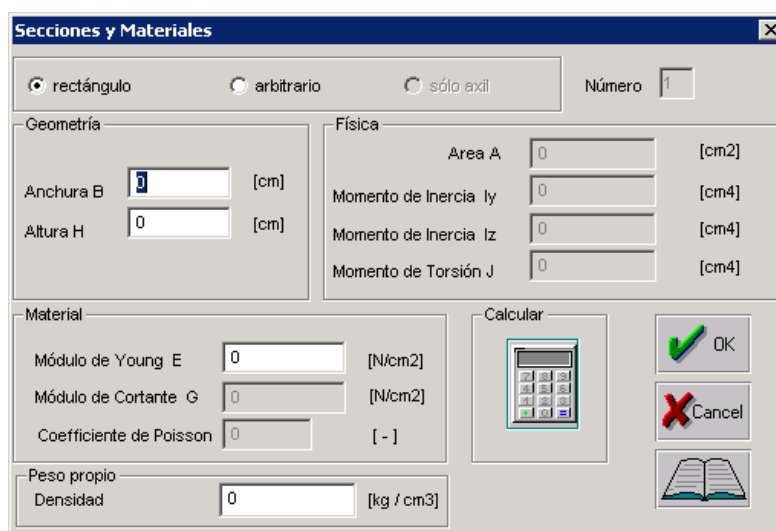


Figura 2.32 Ventana para definir la sección y sus propiedades.

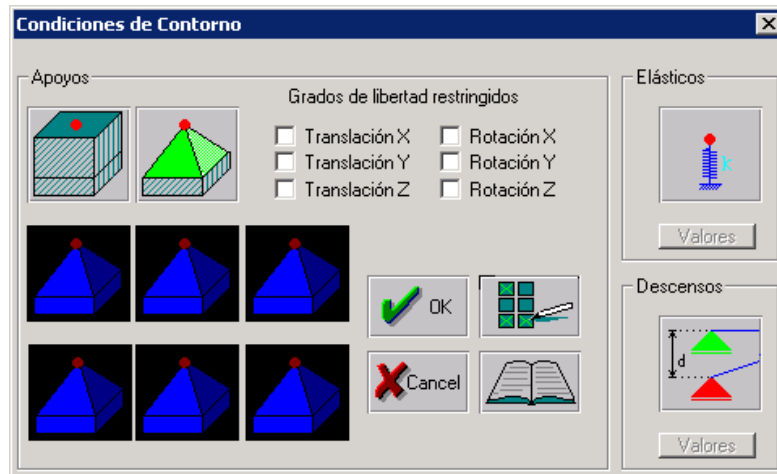


Figura 2.33 Ventana para definir apoyos.

Como se ha explicado anteriormente los resultados se pueden visualizar utilizando el módulo de Ejercicios o el de Ejemplos. Ambos son muy similares, y la única diferencia estriba en que en el de Ejercicios se requiere de la participación del usuario, mientras que en el de Ejemplos no. En ambos casos el programa permite elegir como se va a resolver la estructura: con solución final o con solución paso a paso. En esta última modalidad, se van visualizando los cálculos que realiza el ordenador internamente. Concretamente este software utiliza un método matricial, y por lo tanto nos muestra cómo se van formando las matrices de cada una de las partes de la estructura. A continuación se va a ver someramente como son cada uno de estos módulos.

Módulo Ejemplos

Como se ha dicho con anterioridad, en este módulo, una vez solucionada la estructura, se pueden visualizar todos los resultados, con tan sólo presionar los botones de la barra de herramientas. Para visualizar las leyes de esfuerzos o deformadas, únicamente hay que presionar el botón correspondiente; en cambio, para ver las reacciones en un apoyo o los desplazamientos de un nudo, hay que mantener presionado el botón correspondiente y pinchar con el ratón en el lugar (nodo o apoyo) donde se quiera conocer un determinado resultado. En la figura 5 se puede ver la barra de botones de los módulos en los que se soluciona la estructura.

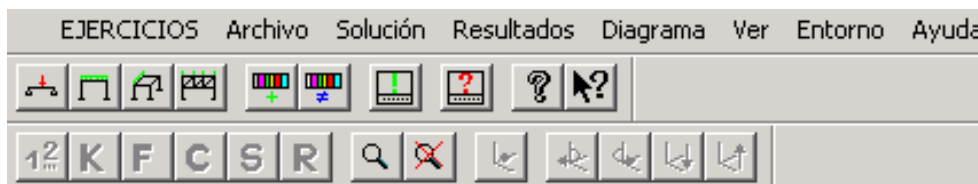


Figura 2.34 Barra de botones de los módulos Ejemplos y Ejercicios.

Módulo Ejercicios

Este módulo es un poco diferente al anterior. Una vez alcanzada la solución final, ya sea paso a paso o directamente, se pueden consultar los iconos de la barra de tareas que dan los movimientos en los nodos y las reacciones, mientras que no así los de las leyes de esfuerzos.

Para obtener estas leyes, primero hay que pinchar sobre una de las barras y a continuación presionar uno de los botones que dan las leyes. En ese momento en la pantalla tan sólo aparecerá la barra en cuestión, y utilizando los iconos con las flechas, se va dibujando el diagrama de esfuerzos correspondiente. Esto también se puede hacer presionando el botón de calcular. Para volver a la pantalla de la estructura una vez que se ha dibujado el diagrama, hay que pulsar el icono de salir. La figura 6 muestra la ventana que aparece al dibujar interactivamente las leyes de esfuerzos, particularmente el caso de los axiles.

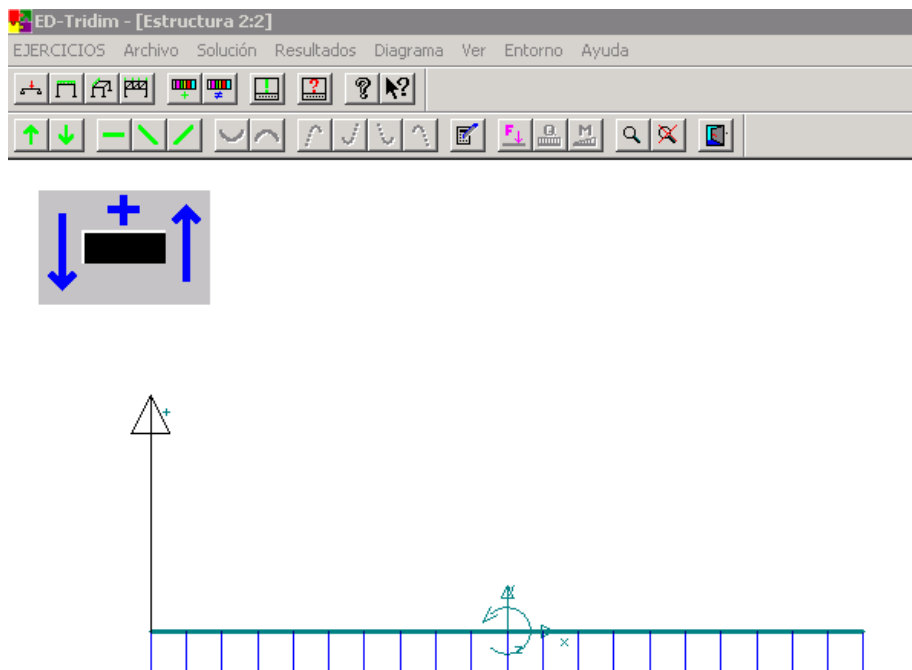


Figura 2.35 Ventana de trazado de las leyes de esfuerzo.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN DEL CÓDIGO TÉCNICO DE EDIFICACIÓN (CTE) A TORRES DE TELEFONÍA MÓVIL

3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

En base a los antecedentes anteriores y modelos se han expuesto en el capítulo anterior, la elección del tipo de torre se puede justificar según los siguientes criterios:

- ✓ La conveniencia del uso de acero en la estructuras, frente a la posibilidad de la construcción de una torre de hormigón, ya que confieren a la estructura una mayor resistencia, menor peso, mayor duración en el tiempo y fácil mantenimiento, montaje más cómodo en el lugar de trabajo y mejor estética.
- ✓ Entre los tres tipos de torre, se descarta primeramente la torre atirantada, como motivo, a pesar de que suelen ser muy económicas, es que la utilización de este diseño requiere un área de implantación muy extensa, área de la cual no se dispone en la mayoría de las situaciones, por lo que se suelen utilizar torres autosoportadas o monopolos en el ámbito de las telecomunicaciones.
- ✓ Las torres de telefonía móvil oscilan entre los 30 m y 40 m para asegurar el correcto funcionamiento de las antenas que soportan, por lo tanto se opta por la altura estándar a estudiar, que es la de 30 m.

Una vez enfocado el contenido del proyecto, el primer paso que se debe anterior al desarrollo debe ser aprender a distribuir y a proporcionar las partes de la estructura de tal manera que tengan suficiente resistencia, su montaje sea práctico y sean económicas.

Por lo tanto se han de combinar los tres parámetros siguientes, para el estudio de los dos modelos restantes, autosoportada o monopolo, una vez descartadas por las razones expuesta anteriormente, las atirantadas.

Seguridad

Las estructuras no sólo deben soportar las cargas impuestas (estado límite de rotura), sino que además de las deflexiones y vibraciones resultantes, no sean excesivas alarmando a los ocupantes, o provoquen agrietamientos.

Costo

Siempre se ha de procurar reducir los costos de construcción sin reducir la resistencia, algunas ideas que se utilizan en la práctica son por ejemplo, la utilización de secciones estándar, haciendo detallado simple de conexiones y previendo un mantenimiento sencillo.

Factibilidad

Las estructuras diseñadas deben fabricarse y montarse sin problemas, por lo que hay que adecuarse al tipo de equipos e instalaciones disponibles, debiendo aprender como se realiza la fabricación y el montaje de la estructuras para poder detallarlas adecuadamente, ajustarse a las tolerancias de montaje, dimensiones máximas de transporte, especificaciones sobre instalaciones, de tal manera que a la hora de acometer el proyecto, todo sea factible.

3.2 ACERO ESTRUCTURAL

Los aceros a emplear en la construcción de torres deben cumplir con las especificaciones que se establecen en la normativa “NBE EA-95 Estructuras de Acero en Edificación”. Esta normativa establece las reglas para aceros laminados en caliente de espesor mayor de 3 mm, perfiles huecos y confirmados en frío o caliente destinados a servir de elementos resistentes de espesor constante igual o mayor que 2mm, para roblones, tornillos ordinarios, calibrados y de alta resistencia, así como las tuercas y arandelas empleadas en cualquier tipo de estructura de acero.

La norma NBE EA-95 utiliza las designaciones de acero A-37, A-42 y A-52, en la que el número indicado corresponde a la resistencia a tracción garantizada (en kg/mm^2), con las calidades o grados b, c y d para cada uno de ellas; no obstante, la designación comercial actual de aceros es la que figura en la normas UNE EN 10025 y UNE EN 10210-1.

Los aceros A-37, A-42 y A-52 se emplearán para los productos laminados, según su calidad, con las siguientes consideraciones:

- Calidad b*: Utilizable en construcciones remachadas o soldaduras ordinarias.
- Calidad c*: Propio para construcciones soldadas con las exigencias de alta soldabilidad o de insensibilidad a la rotura frágil.
- Calidad d*: Propio para las construcciones soldadas con exigencias especiales (de resistencia, de resiliencia, etc).

En la UNE 10025 se designan los aceros con la letra S seguida de un número 235, 275 ó 355, que hacen la referencia al límite elástico garantizado (σ_e) expresado en N/mm^2 para espesores inferiores a 16mm. Existen diferentes grados JR, JO, J2, que además se subgrados G2 y G3.

Los diferentes grados JR, JO, J2 se diferencian por su soldabilidad y resiliencia, siendo la soldabilidad creciente desde el grado JR al J2.

Los aceros de grado G3 se suministran en estado normalizado (proceso que consiste en calentar el acero por encima de la temperatura de cristalización, y enfriarlo posteriormente al aire en calma).

El tipo de acero que se va a utilizar en los perfiles de la torre será de acero estructural normal A 42 b (S 275 JR) con la tensión de rotura a la tracción de 4200 kg/cm^2 , y con el objeto de fijar

un mínimo de calidad, deberá tener el límite de proporcionalidad no menos a 2100 kg/cm^2 y el límite de fluencia superior no menor que 2300 kg/cm^2 .

Los aceros serán de una calidad tal que sus propiedades no se alteren con el galvanizado en baño caliente, ya que todos los elementos constructivos de los soportes de antena serán galvanizados en caliente después de que se haya completado todo el trabajo de fábrica.

Todas estas propiedades deben ser garantizadas y serán verificadas en un laboratorio de ensayos de materiales reconocido.

A continuación se muestra una tabla se reflejan las características mecánicas de los aceros.

Tabla 3.1 Características mecánicas de los aceros según la Norma NBE EA-95

Características mecánicas	Espesor	Probeta	A 37b	A 37c	A 37d	A 42b	A 42c	A 42d	A 52b	A 52c	A 52d
Límite elástico σ_e mínimo (kp/mm^2)	$\leq 16 \text{ mm}$		24	24	24	26	26	26	36	36	36
	$> 16 \text{ mm}$		23	23	23	25	25	25	35 (1)	35	35
	$\leq 40 \text{ mm}$		22	22	22	24	24	24	34 (1)	34	34
	$> 40 \text{ mm}$ $\leq 63 \text{ mm}$		22	22	22	24	24	24	34 (1)	34	34
Alargamiento de rotura δ mínimo (en %)	$\leq 40 \text{ mm}$	Longitudinal	26	26	26	24	24	24	22 (1)	22	22
		Transversal	24	24	24	22	22	22	20	20	20
	$> 40 \text{ mm}$ $\leq 63 \text{ mm}$	Longitudinal	25	25	25	23	23	23	21 (1)	21	21
		Transversal	23	23	23	24	21	21	19	19	19
Resistencia a tracción σ_R mínimo-máximo (kp/mm^2) (2)			37-48	37-45	37-45	42-53	42-50	45-50	52-62	52-62	52-62
Resiliencia	Energía absorbida p ($\text{kp}\cdot\text{m}$)		2.82 +20	2.8 0	2.8 -20	2.82 +20	2.8 0	2.8 -20	2.82 +20	2.8 0	2.8 -20
	Temperatura de ensayo $^{\circ}\text{C}$										
(1) En los aceros del tipo A 52 el espesor límite de 40 mm se sustituye por 36 mm. (2) Salvo acuerdo en contrario, no será objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtienen 2 kp/mm^2 de menos. Tampoco si en los aceros de grados c y d se obtienen 2 kp/mm^2 de más.											

3.3 ACCIONES SOBRE TORRES

3.3.1 Clasificaciones y definiciones

Se considerará que una acción que solicite una estructura podrá ser:

- ✓ Una fuerza aplicada sobre la estructura (acción directa), como es el peso propio, las sobrecargas de uso, etc...
- ✓ Una deformación o una aceleración impuesta a la estructura (acción indirecta), como son las acciones reológicas, las térmicas, las sísmicas, etc..

Las acciones también se pueden clasificar atendiendo a:

a) Su variación en el tiempo:

- *Acciones permanentes (G)*, que son las que actúan en todo momento y son constantes por posición y magnitud, una vez que la estructura es apta para entrar en servicio (peso propio de la estructura y elementos funcionales).
- *Acciones variables (Q)*, son aquellas externas a la estructura que pueden actuar o no sobre la torre (sobrecargas de uso, acciones climáticas, etc.)
- *Acciones accidentales (A)*, son aquellas cuya posibilidad de actuación durante un periodo de referencia establecido, es pequeña, pero cuya importancia puede ser considerable en ciertas estructuras (impacto de vehículos, sismos, inundaciones, etc.)

b) Su variación espacial:

- *Acciones fijas*, aplicadas siempre en la misma posición, como es básicamente el peso propio de todos los elementos estructurales y funcionales.
- *Acciones libres*, que pueden actuar en diferentes posiciones, como las sobrecargas de uso.

c) La respuesta estructural que producen:

- *Acciones estáticas o cuasi-estáticas*, que son las que no provocan oscilaciones o vibraciones significativas en la estructura o en sus elementos estructurales.

3.3.2 Valor característico de las acciones

El valor característico de una sección es su principal valor representativo. Puede venir determinado por un valor medio, un valor nominal (definido por medio de criterios determinísticos o probabilísticos) o, en los casos que se fije en base a criterios estadísticos, por un valor correspondiente a una determinada probabilidad de no ser sobrepasado (por el lado de los valores más desfavorables) durante un “período de referencia” teniendo en cuenta la vida útil de la estructura y de la duración de la situación de cálculo.

De acuerdo con la clasificación realizada por su variación en el tiempo, se indica a continuación el valor característico de las acciones.

3.3.2.1 Acciones permanentes (Q)

Las acciones permanentes son producidas por el peso de los distintos elementos que forman parte de la torre. Son aquellas cuya magnitud y posición permanecen prácticamente constantes durante la vida útil de la estructura. Se clasifican en peso propio y cargas muertas.

- ✓ **Peso propio**, esta acción es la que corresponde al peso de los elementos estructurales, y su valor característico se deducirá de las dimensiones de los elementos especificados en planos, y de los pesos específicos correspondientes.

- ✓ Cargas muertas, serán las debidas al peso de los elementos no estructurales que graviten sobre los estructurales, tales como las antenas de telefonía móvil, parábolas, feeders, guías de onda, escaleras, plataformas, etc.

Para la determinación del calor característico de esta acción podrán adoptarse los pesos específicos de cada material provisto en el proyecto, así como los pesos de las propias antenas recomendados en la normas facilitadas por fabricantes.

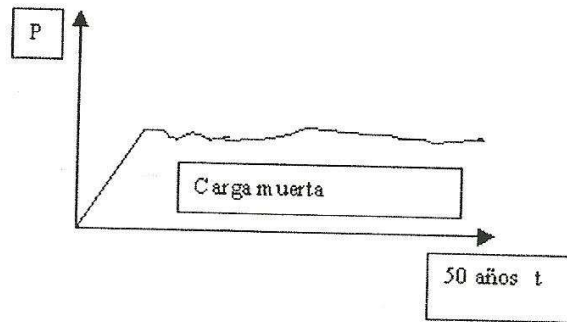


Fig 3.1 Variación carga muerta respecto al tiempo

Ya se ha comentado que el motivo de la existencia de las torres de telefonía móvil es el de soportar una serie de antenas que sirven para proporcionar cobertura a una zona determinada célula, las antenas necesarias para este objetivo pueden catalogarse en dos tipos diferentes.

Por un lado se necesitan **antenas sectoriales** también llamadas panel que emiten en radios iguales tanto verticalmente como horizontalmente. Estas antenas se usan cuando se quiere emitir en un espacio determinado, más amplio que le que abarcan las antenas direccionales pero menos que la omnidireccionales. Tienen forma de panel vertical y cubren un ángulo horizontal que puede ser de 60° a 120° , por lo tanto las encontraremos en agrupaciones de 6 antenas situadas en los vértices de un hexágono o en agrupaciones de 3 antenas situadas en los vértices de un triángulo.

Las formas más comunes de encontrar las antenas de panel sobre las torres se reducen a dos:

- Por un lado, se puede utilizar una estructura de barras con forma triangular o hexagonal sobre la que irán montados los paneles que, si bien adiciona un mayor peso a la estructura soporte, también proporciona una superficie mayor para el trabajo de las personas que puedan montar o reparar los sistemas radiantes y por otra parte, la propia geometría de la estructura proporciona la orientación adecuada a los paneles.

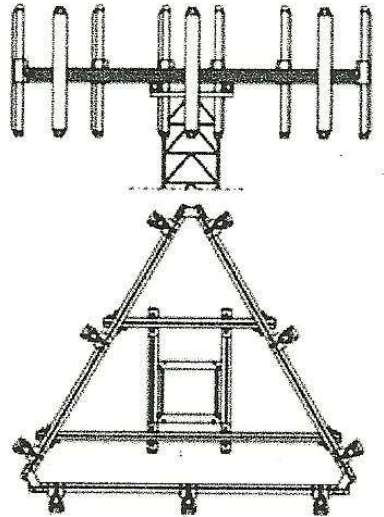


Fig 3.2 Antenas sectoriales sobre estructura triangular en celosía

- Otra forma más sencilla de posicionar las antenas sobre la torres es por medio de tubos de sujeción y abrazaderas, estos elementos son de montaje muy sencillo y prácticamente no adicionan peso a la estructura, pero cuentan con el inconveniente de que se ha de realizar la orientación de los transmisores manualmente.

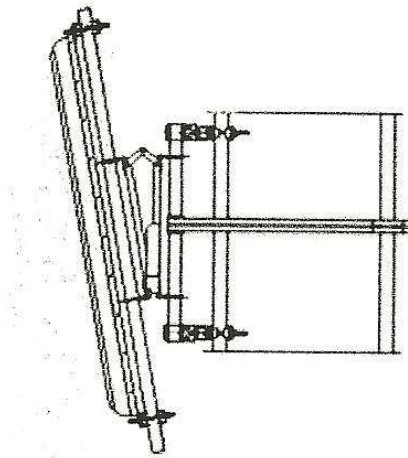


Fig 3.3 Sujeción panel por medio de agarraderas

Por otra parte, es necesario la utilización de **reflectores parabólicos** que actúan como radioenlaces y evitan así la necesidad de elementos físicos para la transmisión de datos entre diferentes estaciones base, centrales, etc.

Un reflector parabólico se construye de fibra de vidrio o de aluminio. El caso de la fibra de vidrio se construye con laminado reforzado con resina de poliéster, la superficie se metaliza con zinc. La superficie interna de la parábola está metalizada, y se coloca una visera (de fibra de vidrio o aluminio) con cobertura absorbente para reducir el lóbulo lateral de irradiación (entre 70° y 180°) con el propósito de mejorar las prestaciones frente a las interferencias. Es cobertura se conoce como Shield.

Normalmente este tipo de antenas llevan radomo, esto es una cubierta protectora del sistema radiante en los equipos. Es fundamentalmente una instalación de gran envergadura para eliminar la acción del viento, para aislarlos de la intemperie, y en los equipos de a bordo de aviones y naves espaciales, para darle además forma aerodinámica. El radomo es de forma de vidrio o te la de Hypalon y se realiza en forma plana cuando existe shield o de lo contrario es parabólico.

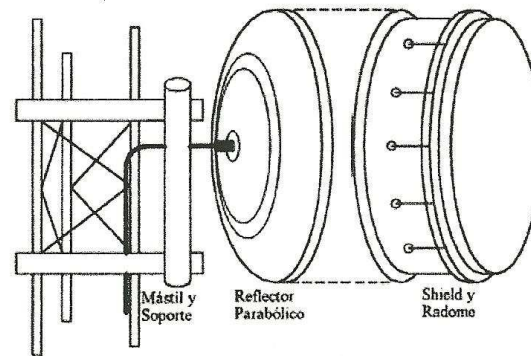


Fig 3.4 Partes reflector parabólico

Al igual que las antenas de panel, las parabólicas se sitúan sobre las torres con un sencillo método de anclaje constituido por un tubo ligero y dos abrazaderas, que proporcionan un reglaje muy fácil y adicionan un peso despreciable.

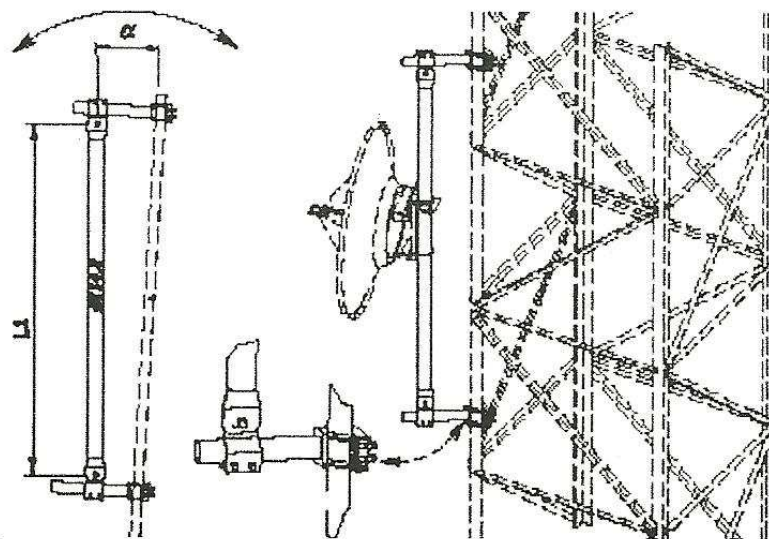


Fig 3.5 Sujeción reflector parabólico

Para el caso particular que se está tratando son necesarias tres antenas sectoriales que van sujetas a la torre por medio de abrazaderas, esa disposición es la más común de encontrar en los sistemas de telefonía móvil por su sencillez, por su parte la antena parabólica también utiliza una anclaje sencillo consistente en tubos huecos y abrazaderas cuyo peso es mínimo.

3.3.2.2 Acciones variables (Q)

- ❖ Sobrecarga de uso

Son cargas variables en magnitud y/o posición debidas al funcionamiento propio de la estructura.

En este tipo de proyectos se considera únicamente como sobrecarga de uso al personal necesario para la instalación de los componentes de la torre. Estas cargas se especifican como uniformemente repartidas por unidad de área en la normativa.

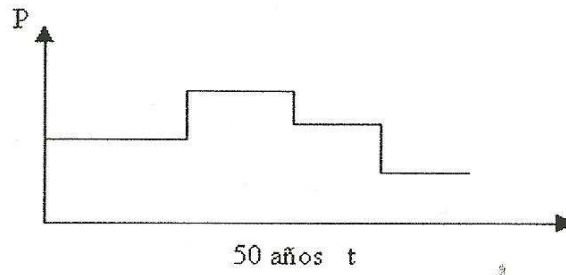


Fig 3.6 Variación de la sobrecarga de uso respecto al tiempo

❖ Acciones climáticas

a) Viento

La acción que el viento va ejercer sobre las torres autoportadas va a ser de suma importancia a la hora del cálculo y diseño de estas. DE hecho será la principal causa, junto con el peso propio y las cargas muertas, de aparición de cargas sobre la estructura de la torre, por lo que se ha de entrar en detalle en su estudio.

Para poder determinar los procedimientos y los medios para poder obtener los valores producidos por el viento sobre cualquier tipo de construcción es necesario recurrir a los valores experimentales extraídos de túneles de viento o ensayos similares realizados en estructuras de características semejantes a las de la estructura que se quiere estudiar.

La acción del viento ejercida sobre cualquier tipo de construcción resulta de la suma de una componente estática, que depende de la presión estática, y de una componente dinámica, que depende de la variación de la velocidad del viento al enfrentar el obstáculo. Así pues la acción del viento produce efectos estáticos y efectos dinámicos más o menos acentuados según la forma y dimensión de las estructuras sobre las que se actúa.

En este caso particular, la acción del viento se considerará como una carga estática, no obstante, puede ser objeto de estudios posteriores algún caso en el cual la acción del viento puede originar fenómenos vibratorios importantes y deba realizarse un estudio dinámico adecuado.

A la hora de determinar la acción que el viento ejerce sobre una determinada estructura se han de tener en cuenta una serie de factores que intervienen en la caracterización del viento como fenómeno complejo. Estos factores son:

- Velocidad de referencia del viento; Se define la velocidad de referencia, V_{ref} , como la velocidad media a lo largo de un período de diez minutos, medida en una zona plana y desprotegida frente al viento equivalente a un entorno tipo II según se definen posteriormente, a una altura de diez metros, y con un período de retorno de 50 años.

- La geometría de la estructura. De ella dependerá la carga aerodinámica del viento sobre la misma, en particular dependerá de su altura y su área expuesta.
- Rugosidad del terreno. Las condiciones del terreno afectan al viento incidente modificando las propiedades (cerca del suelo la velocidad media es tanto menor y la turbulencia tanto mayor, conforme aumenta la rugosidad).

Desde el punto de vista aerodinámico los terrenos se identifican por su rugosidad como se establece a continuación:

- TIPO I (R1): Mar abierto, lagos de hasta 5km. de desarrollo y terreno abierto, suave y sin obstáculos.
- TIPO II (R2): Terrenos con setos entre fincas, pequeñas estructuras agrarias, edificios y árboles aislados.
- TIPO III (R3): Áreas suburbanas o industriales y zonas de bosques permanentes.
- TIPO IV (R4): Áreas urbanas con al menos el 15% de su superficie cubierta con edificios de alturas media mayor a 15m.

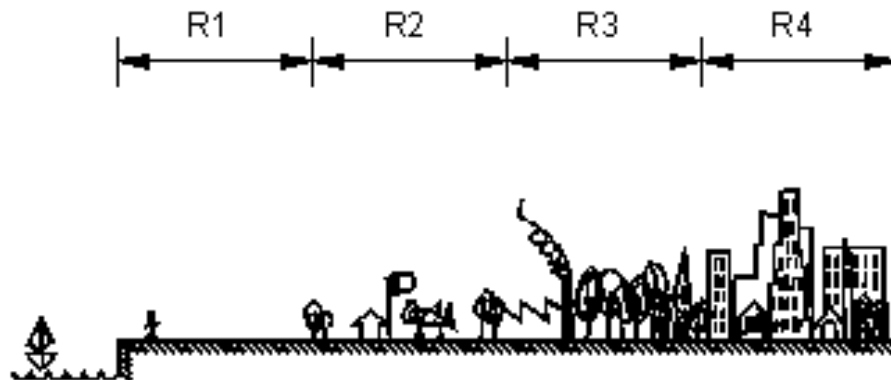


Fig 3.7 Tipos de terreno

De no existir datos específicos de la zona en la que se ubicará la torre, se podrá tomar el valor que deduce del mapa de isotacas (líneas que marcan las zonas en las que existe igual intensidad de viento) que a continuación se muestra, según la velocidad de este.

- Respuesta mecánica de la estructura. Pues las estructuras flexibles pueden oscilar excitadas por el viento hasta el punto de que esta vibración producida por el viento modifique las propias cargas aerodinámicas.

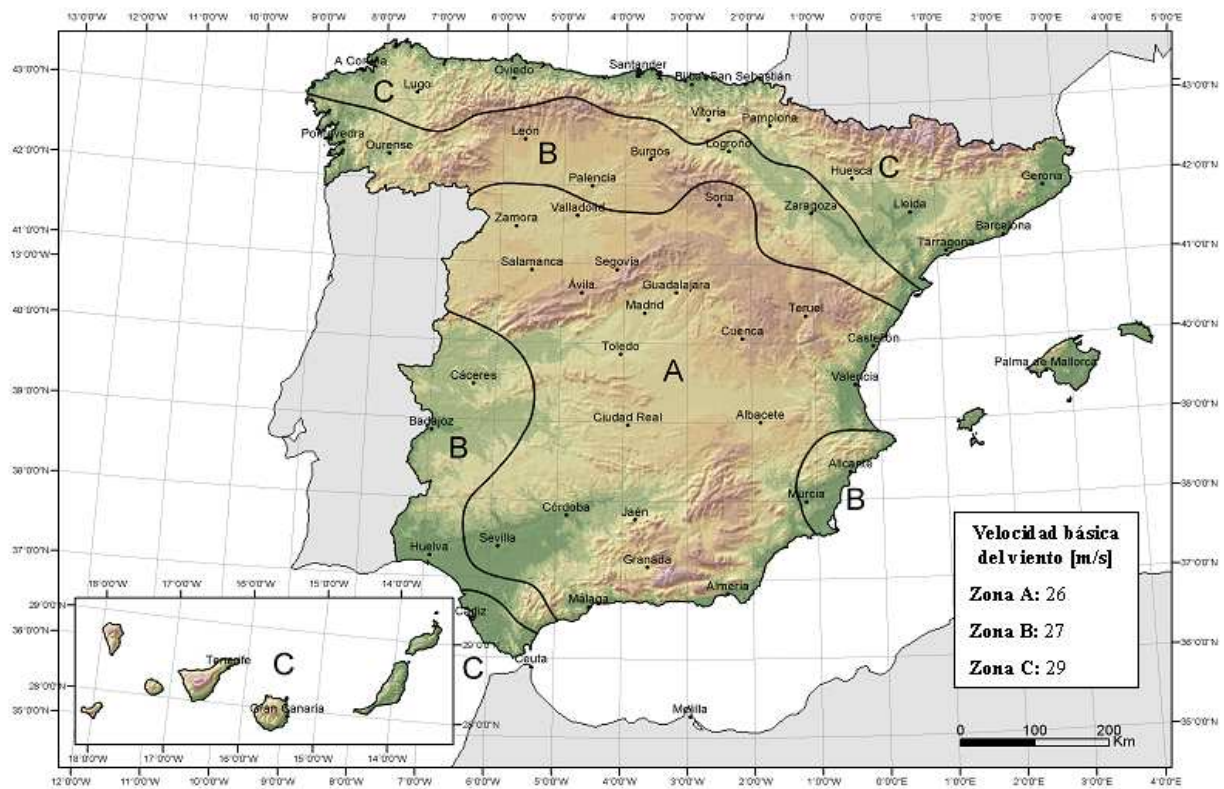


Fig 3.8 Valor básico de la velocidad del viento

El cálculo de cargas del viento se realiza por medio de fórmulas estipuladas en los reglamentos correspondientes de cada país. En España utilizaremos la CTE-DB-SE-EA en el punto 3.3

b) Nieve

En España la normativa que se aplica para el cálculo de la sobrecarga producida por la nieve acumulada en las diferentes edificaciones, es CTE-DB-SE-EA, en su capítulo 3.5.

La sobre carga de nieve viene expresada por la carga básica de nieve, esto es, el peso de la nieve que puede acumularse sobre la superficie cubierta y se denomina q_n . La carga originada por la nieve debe tenerse en cuenta en aquellas edificaciones en las que existan superficies en las que la acumulación de nieve pueda ocasionar problemas de sobrepeso, no obstante en las torres destinadas a telefonía móvil, tanto celosía como tubulares o monopolo, dada su construcción, la acumulación de la nieve sobre sus elementos es prácticamente nula, por lo que los efectos debido a esta cargas los consideramos despreciables.

c) Acciones térmicas

En este punto se va a tratar el efecto que provoca la variación de la temperatura sobre la estructura de la antena de telefonía móvil. El objeto es determinar si con fuertes variaciones de temperatura la estructura sufre deformaciones sustanciales que haya que tener en cuenta por sus efectos perjudiciales sobre su comportamiento estructural.

Si un cuerpo elástico lineal isótropo y homogéneo es sometido a variaciones de temperatura, es bien sabido que suele modificar su tamaño y forma.

Cualesquiera que sean las deformaciones necesarias que resulten de los efectos térmicos, se supondrán independientes de cualquier tensión o deformación que exista durante el proceso de cambio de temperatura, Este permite usar superposición y escribir que la deformación unitaria total que resulta de una combinación de efectos mecánicos y térmicos se puede calcular superponiendo éstos, de acuerdo con;

$$\varepsilon_{\text{total}} = \varepsilon_{\text{mec}} + \varepsilon_{\text{ter}} \Rightarrow \varepsilon_{\text{total}} = \varepsilon_{\text{mec}} + \alpha \Delta T$$

Si bien se supone que la influencia de los cambios térmicos sobre las constantes elásticas del material son despreciables, se deben considerar dilataciones que éstos conllevan, con valores de desplazamientos que pueden ser del orden de los que producen las cargas.

Las propiedades constructivas del acero al carbono se conservan hasta aproximadamente 600 °C. Su alargamiento térmico a esa temperatura, considerando que el coeficiente de dilatación térmica de este acero es $\alpha = 12 \times 10^{-3} \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$, es $\varepsilon_1 = 0,7\%$. Este valor excede sensiblemente de la formación correspondiente al límite de la elasticidad del acero. Por consiguiente las altas temperaturas pueden dar lugar a deformación plástica en el acero. Sin embargo un alargamiento del orden del 0,7% es sensiblemente menor al alargamiento de la rotura del acero, por lo cual es difícil imaginar una rotura de una pieza de acero a causa del efecto térmico.

El efecto de alargamiento debido a la variación de temperatura va a variar en función de cómo sea dicho incremento de temperatura, así se pueden diferenciar varios casos:

- *Incremento de la temperatura uniforme*; igual temperatura por las dos caras de la barra
 $\Delta T_1 = \Delta T_2$

$$\Delta L = \alpha ds.(\Delta T_1 + \Delta T_2)/2 = \alpha.L. \Delta T$$

Donde:

ΔL : Desplazamiento del punto final en la dirección de la barra

ds : Elemento diferencial de longitud

α : Coeficiente de dilatación térmica

- *Incremento de temperatura diferente para cada cara de la barra*; $\Delta T_1 \neq \Delta T_2$

$$\Delta L = \alpha.ds.(\Delta T_1 + \Delta T_2)/2 = \alpha.L.(\Delta T_1 + \Delta T_2)/2$$

Cuando el incremento de las temperaturas es diferente por cada lado de las barras también hay que tener en cuenta el desplazamiento de la barra debido al giro de la sección.

$$d\theta = \alpha.ds. (\Delta T_1 - \Delta T_2)/ c$$

Siendo c el canto de la sección.

Por lo tanto, considerando un elemento diferencial de desplazamiento, du ;

$$du = d\theta \cdot s$$

$$\Delta L = du = d\theta \cdot s = \alpha \cdot ds \cdot (\Delta T_1 - \Delta T_2) / c = \alpha \cdot (\Delta T_1 - \Delta T_2) \cdot [L^2/2]$$

En donde:

ΔL : Desplazamiento del punto final en la dirección perpendicular a la barra

Una vez estudiado el modo en que un elemento modifica su tamaño y forma debido al efecto térmico se hace un pequeño inciso referente a la normativa aplicable en este tema;

- Al considerar estas acciones se tendrá en cuenta tanto la componente de variación uniforme de temperatura que experimenta el elemento, asociada fundamentalmente al rango anual de temperaturas ambiente en el lugar de su emplazamiento, como las de los gradientes térmicos en las secciones transversales, asociados a variaciones diarias.
- Para la determinación de los efectos que se producen se considerarán los coeficientes de dilatación térmica de los correspondientes materiales utilizados.
- La componente de variación uniforme de temperatura depende de la temperatura efectiva (temperatura media en las secciones trasversales) mínima y máxima que pueda alcanzar el elemento en un período de tiempo determinado.
- Su valor dependerá de la tipología estructural del elemento, sus dimensiones, los materiales que los constituyan, y de los valores de la temperatura ambiente de la zona climática en que se vaya a ubicar la construcción.

En la figura adjunta se indican las zonas climáticas en las que se divide España a efectos de evaluación de las acciones térmicas.

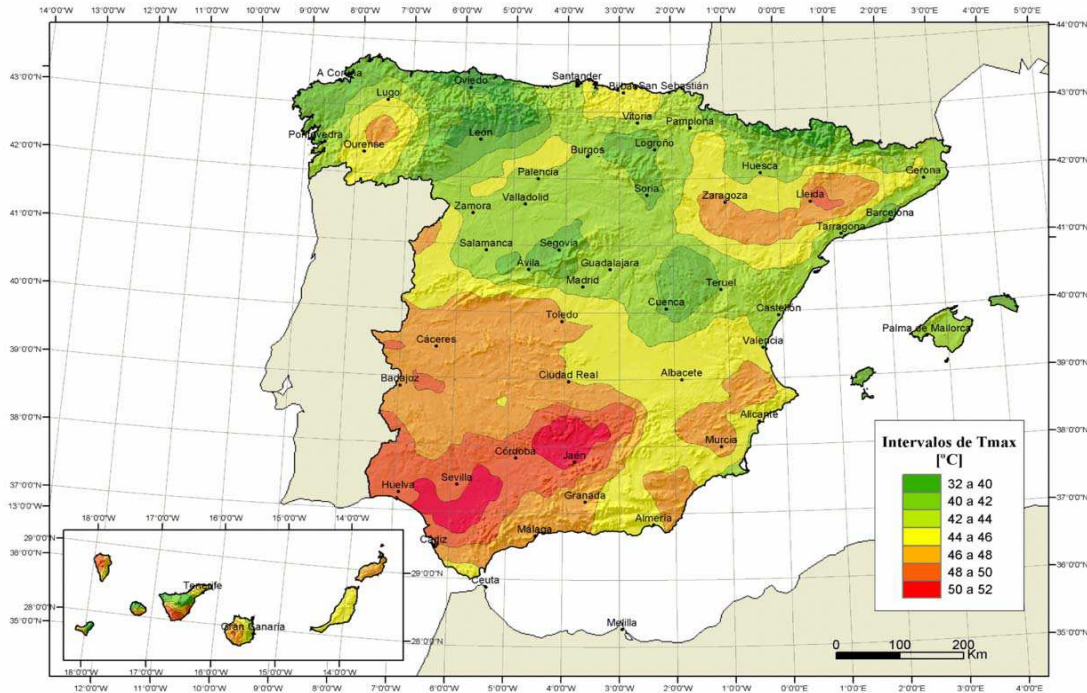


Fig 3.9 Isothermas de temperatura anual máxima del aire

3.3.2.3 Acciones accidentales (A)

❖ Sismo

Estas cargas inducidas en las estructuras están en relación a su masa y elevación a partir del suelo, así como de las aceleraciones del terreno y de la capacidad de la estructura para disipar energía. Estas cargas se pueden determinar como fuerzas estáticas horizontales aplicadas a la estructura. Aunque en ocasiones debido a la altura de las estructuras o a su esbeltez se hace necesario un análisis dinámico para determinar las fuerzas máximas a que estará sometida a la estructura.

Para el tratamiento de las acciones sísmicas es necesario remitirse a la normativa vigente. Dependiendo de la ubicación de la construcción se requerirá diferentes estudios de terreno y por consiguiente la aplicación de los distintos criterios de seguridad. Aquí se dan a continuación unas pautas básicas que se han de cumplir para cumplir las verificaciones mínimas de seguridad en cualquier estructura;

- La estructura debe poseer adecuada resistencia según las dos direcciones principales de la construcción y además formar un mecanismo apto para la resistencia a torsión.
- En el diseño del sistema estructural se evitarán aquellas situaciones que conllevan cambios bruscos de rigidez y/o resistencia en alzado y planta, procurándose obtener una distribución uniforme y continua de resistencia, rigidez y ductilidad. Para ellos debe prever a la estructura de valores equilibrados de resistencia, rigidez y ductilidad en los elementos estructurales, en sus conexiones (nudos) y en sus soportes.
- La resistencia y la rigidez de la estructura debe ser compatible con el sistema de cimentación y el tipo de suelo.

- El sistema estructural debe presentar suficiente rigidez inicial y presentar aceptable deformaciones totales en estado de agotamiento, de manera que se minimicen los daños frente a terremotos de fuerte ocurrencia y que los daños provocados por terremotos severos resulten económica y técnicamente reparables.

El estudio de las acciones que conlleva un terremoto se realiza en base a las indicaciones dadas en la norma NSCE “Norma de construcción sismorresistente”.

Según esta normativa hay que seguir los siguientes pasos.

- Las acciones sísmicas en torres se considerarán únicamente cuando el valor de la aceleración de cálculo sea superior o igual a seis centésimas de g ($>0,06g$), siendo g la aceleración de la gravedad.
- La aceleración de cálculo en el terreno (a_0) a considerar en el estudio sísmico para una estructura en servicio, adoptará la expresión:

$$a_0 = \gamma_i \cdot C$$

Siendo a_b la aceleración sísmica y γ_i el coeficiente de nivel de daño, definido a continuación;

a) Aceleración sísmica básica (a_b)

De acuerdo con la “Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE)”, las aceleraciones sísmicas básicas a_b , pueden obtenerse de la figura siguiente.



Fig 3.10 Mapa sísmico

La aceleración sísmica básica esta readicionada con la intensidad MSK (I_{MSK}) mediante la siguiente fórmula

$$\log_{10} a_b = 0,3 I_{MSK} - 2,23$$

Donde a_b es la aceleración sísmica básica (m/s^2)

b) Coeficiente de nivel de daño (γ_i)

Según la importancia de la construcción, la aceleración de cálculo en el terreno se obtendrá multiplicando los valores básico por un coeficiente que se indica en la tabla siguiente.

Tabla 3.2 Coeficiente nivel de daño sísmico

IMPORTANCIA DE LA CONSTRUCCIÓN	COEFICIENTE DE NIVEL DE DAÑO γ_i
MODERADA	0,0
NORMAL	1,0
ESPECIAL	1,3

Los coeficientes de daño aquí definidos, representa un período de retorno T y un coeficiente de riesgo E de;

$$T = 500 \text{ años; } E = 20\% \text{ para } \gamma_i = 1,0$$

$$T = 1.015 \text{ años; } E = 9,8\% \text{ para } \gamma_i = 1,3$$

Las categorías de las construcciones, atendiendo a criterios de afección y acciones sísmicas, se definirán de acuerdo con el uso a que se destine la estructura y con los daños que puede ocasionar de su destrucción. Exclusivamente a estos efectos se distinguirán las siguientes categorías:

a. De importancia moderada

Se incluyen aquellas construcciones con probabilidad despreciable de que su destrucción puede ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario u ocasionar daños económicos significativos a terceros.

b. De importancia normal

Son aquellas cuya construcción puede ocasionar víctimas o interrumpir un servicio necesario para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas sin que, en ningún caso, se trate de un servicio imprescindible, ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

c. De importancia especial

Son aquellas cuya destrucción puede interrumpir un servicio imprescindible, después de haber ocurrido un terremoto, o aumentar los daños del mismo por efectos catastróficos. En este grupo se incluyen los edificios e instalaciones básicas de comunicaciones, radio, televisión, centrales telefónicas y telegráficas.

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ANÁLISIS DE TORRE DE TELEFONÍA MÓVIL AUTOSOPORTADA CELOSÍA

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura propuesta se construirá con perfiles de acero galvanizado en caliente, calidad AE-275 de 2.800 kg/cm^2 de límite elástico. La tortillería del mástil será del tipo DIN-7990, provista de arandela plana y grover con métrica mínima = 12 mm.

La estructura constará de tramos verticales cuya longitud será de 5 m, hasta formar la altura deseada de la torre, cada tramo llevará una configuración de perfiles correspondiente a la altura de este. Los tramos verticales son unidos por perfiles diagonales cuyas dimensiones también se configuran según la altura a la que sean situados.

El acceso a la torre se realizará por su interior mediante una escalera de acceso de 500 mm de anchura, formada por perfiles L de 50 x 5 mm con peldaños de tubo redondo de acero de 20 mm, separados 250 mm entre sí. La escalera irá provista de un sistema anti-caídas homologado por el operador correspondiente.

En el mástil van instaladas plataformas de descanso cada 9 m. de altura, formada por chapas lagrimadas y perforadas de 4 mm de espesor. Asimismo, se instalarán también plataformas de trabajo que cubrirán toda sección construida con chapa lagrimada y con trampilla abatible de acceso en alturas donde vayan las diferentes equitaciones de antenas.



Fig. 4.1 Torre celosía 30 m

Para la bajada de cables de antenas la torre va provista de un recorrido vertical de guía ondas, formado por un perfil L de 40 x 4 mm, de 1,5 m de longitud por cada 0,8 m de altura en el tramo inferior de la torre (1,6 m de ancho) y de 1,1 m de longitud en el tramo superior (1,2 m de ancho).

En el Anexo 1, se muestra plano del fabricante para el diseño de la torre de celosía a utilizar en este proyecto, en el cuál quedan reflejados los tramos diseñados y la perfilería a utilizar.

4.2 CÁLCULO CARGAS

Una vez realizada la introducción a la diferentes cargas que pueden actuar sobre las estructuras de las torres de telefonía móvil, se pasa al estudio concreto de las cargas que se van a tener en cuenta en el diseño y cálculo de las torres de objeto de este proyecto.

El estudio de las estructura se va a reducir al cálculo estático, en el cual se van a considerar, por una parte, el peso propio de los perfiles que conforman las estructura de la torre de celosía y el peso que adicionan las antenas, en cuanto a lo que las acciones permanentes se refiere.

Dentro de las acciones variables hay que estudiar qué acciones van a resultar determinantes sobre la torre. La carga debida al viento sobre la estructura va a ser de suma importancia a la hora de calcular la torre por lo que ha de ser estudiada en profundidad.

Por otro lado, la posible carga que origina la nieve ha de ser tenida en cuenta sobre ciertas construcciones, pero no afecta prácticamente en nada a este tipo de estructuras ya que no se forman superficies lo suficientemente grandes como para que la nieve se deposite originando cargas importantes.

El hielo podría tener mayor importancia ya que su aparición si puede dar lugar a cargas, pero hay que considerar que la carga producida por el hielo es de importancia en torres que debido a su ubicación en la alta montaña o zonas con clima especialmente frío, pueden desarrollar la formación de hielo sobre sus elementos. Dichas torres requerirán un estudio más profundo en lo que a esta carga se refiere, pero la gran mayoría de torres ubicadas en un territorio con clima más moderado no van a presentar problemas con la aparición de hielo, por lo que de modo general, la carga asociada a este no se tiene en cuenta.

Así mismo las acciones térmicas no van a ocasionar problemas sobre la estructura, ya que en ningún caso va a haber variaciones bruscas de temperatura hasta el punto en que se ponga en peligro la estabilidad de la torre.

Por último hay que estudiar la influencia de su posible acción de un sismo sobre la estructura. Anteriormente se ha señalado la clasificación que se realiza de la estructuras según la importancia que estas tiene para la sociedad, si bien los servicios de telefonía resultan ser de un importancia especial, el hecho de que una torre destinada a la telefonía móvil puede fallar no va a afectar en absoluto al sistema de telecomunicaciones, ya que inmediatamente la cobertura que diera esa torre es sustituida por la de otra torre cercana, restableciendo así las comunicaciones de la zona afectada. Se trata por tanto de estructuras de importancia moderada para las que no es necesario un estudio de su comportamiento frente a un sismo. Además, estas estructuras son ligeras y por tanto les afecta poco la posible acción de un sismo.

Tras dejar claro las acciones que va a actuar, se pasa al estudio detallado de cada una de las cargas que actúan sobre dichas torres.

4.2.1 Cargas debido a las antenas

Como normal general, para las torres que estudia de 30 m ha de estar diseñada de tal modo que soporte la carga debida a las antenas y al empuje debido al viento sobre los sistemas radiantes en sus 15 metros superiores, ya que será esta zona donde los sistemas radiantes desempeñan su función correctamente y proporcionan la cobertura adecuada.

Estos 15 metros superiores, se dividen en tres zonas normalmente cada una de ellas destinadas a albergar distintos tipos de antenas. Los 5 m superiores están destinados a la ubicación de antenas tipo UMTS, los siguientes 5 m están dedicados a la ubicación de antenas parabólicas y el tercer tramo sirve para albergar las antenas tipo GSM.

El sistema radiante de antenas que se va a definir para el cálculo estructural resulta la disposición más habitual de este tipo de estructuras, siendo esa configuración la más común de encontrar en las estructuras destinadas a la telefonía móvil por su sencillez.

Para ello consideramos que sobre la torre irán situadas las siguientes antenas.

- Se colocarán 3 antenas sectoriales de tipos panel que abarcan un ángulo de 120° cada una proporcionando así, cobertura en los 360° en torno a la torre.

El modelo de antena puede variar según el fabricante, pero tomaremos para dicho cálculo el modelo estándar.

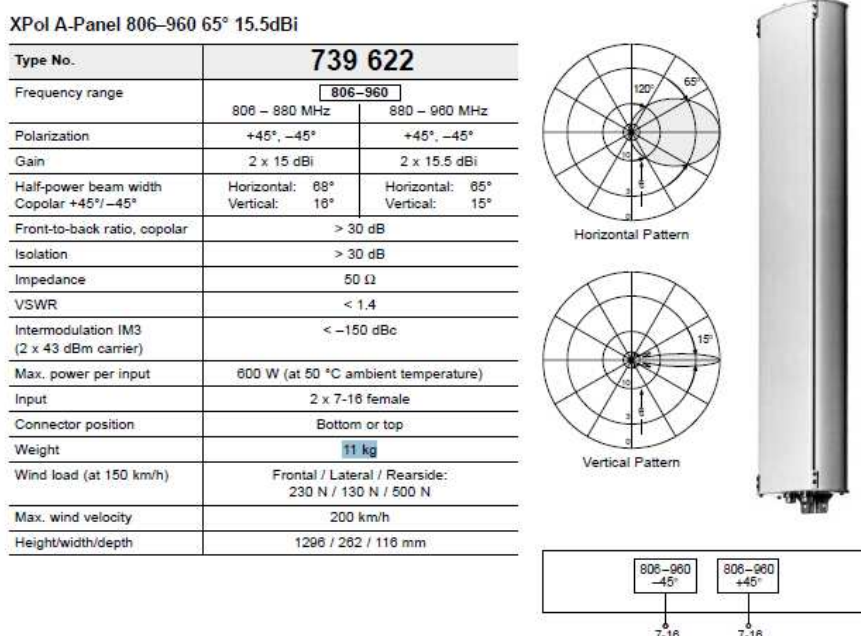


Fig 4.2 Características antena sectorial

- También será necesaria la instalación de una antena parabólica de microondas que sirva de radioenlace con otras celdas. De igual manera que en el caso anterior, se propone la instalación de antena más usual, o estándar.

Dimensiones (H x W x D) = 634 x 634 x 436

Peso = 23 kg, corresponden a la antena, se han de suma 15 kg correspondientes al equipo que lleva adosado a su espalda y aproximadamente 10 kg del herraje para poder anclarlo a la torre, total 50 kg aprox.

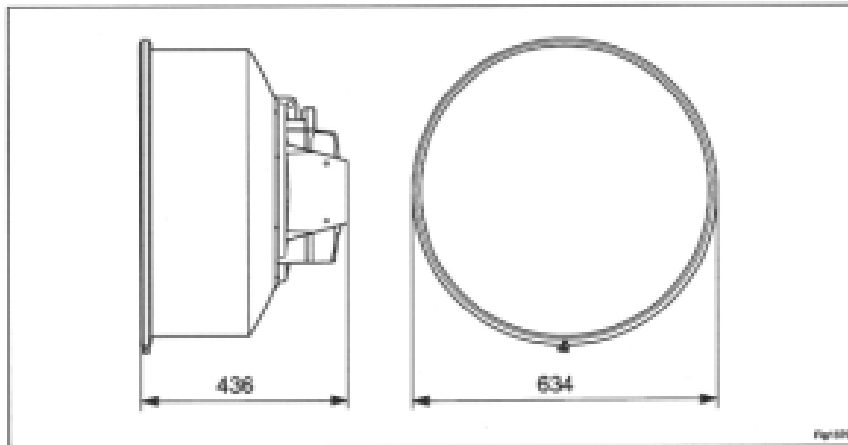


Fig 4.3 Características reflector parabólico 0,6 m

En la tabla anterior se dan las características mecánicas de las antenas parabólicas comprendidas entre los 0,6 y los 4,5 m. Para la función de radioenlace en torres de telefonía móvil con una antena de diámetro de 0,6 m es más que suficiente, pudiendo ser incluso de menor tamaño en la mayoría de las ocasiones, pero para tomar el caso más desfavorable de carga tomamos estas dimensiones.

De tal manera, que en la torre quedarán las antenas situadas en el tramos entre los 25 m y 30 m y la antena parabólica en el tramo siguiente, entre los 20 y 25 m.

El peso que generan las antenas se considera como una carga vertical repartida entre los 5 m destinados a cada tipo de antenas de la estructura y serán soportados por cordones verticales.

No hay que olvidar que las función de los cordones verticales es la de resistir las compresiones generadas por la cargas gravitatorias, mientras que las diagonales absorben los posibles cortantes que se generen.

Se requieren 3 antenas cuyo peso estándar se sitúa en 11,36 kg cada una, pero se redondea a 12 kg, y también se cuenta con que el peso de la antena parabólica se estima en 50 kg.

Cada una de las antenas sectoriales debe situada sobre un cordón vertical, a una altura comprendida entre los 25 m y 30 m, y se ha de considerar una carga repartida.

$$q_{AS} = 12 \text{ kg}$$

Pero se debe trabajar en el sistema internacional por lo que dicha carga ha de tener en Newtons (N). Para simplificar cálculos se toma $1 \text{ kg} = 10 \text{ N}$.

$$q_{AS} = 120 \text{ N}$$

Al considerar que esta carga ha de ser considerada como repartida, se distribuye dicho valor a lo largo de los 5 m de cada montante vertical de forma uniforme.

$$q_{AS} = 120/5 = 24 \text{ N/m}$$

Por su parte, la antena parabólica va a ir sujeta entre la dos patas de la torre, e irá situada en el tramo comprendido entre los 20 y los 25 m.

El reflector parabólico pesa 50 kg, por lo que dicho peso se repartirá en partes iguales entre las dos patas en las que vaya montado, adicionando por lo tanto los 25 kg. de cada pata. Además dicha carga también va a estar repartida entre los 5 m de longitud del tramo correspondiente, por lo que se obtiene:

$$q_{AP} = 50/2 = 25 \text{ kg}$$

$$q_{AP} = 250 \text{ N}$$

$$q_{AP} = 250/5 = 50 \text{ N/m}$$

4.2.2 Cargas debido acción variable: viento

El viento actúa como una presión en todos los elementos sobre los que incide, por lo tanto ha de ser considerado sobre todos los perfiles de la cara que se encuentra expuesta al viento (tanto montantes horizontales, como los cordones y las diagonales) así como sobre las antenas que van a recibir la acción de este sobre el área expuesta.

Para el cálculo de cargas respecto al viento se sigue lo expuesto en el capítulo 3 de la normativa SE-AE.

Se admite que el viento, en general, actúa horizontalmente y en cualquier dirección. Se considerará en cada caso la dirección o direcciones que produzcan las acciones más desfavorables.

Las estructuras se estudiarán ordinariamente bajo la actuación del viento en sus ejes principales y en ambos sentidos. En casos especiales como las estructuras reticuladas abiertas, se estudiará además las acciones en las direcciones sesgadas que resulten más desfavorables.

Se define la acción del viento, q_e , una fuerza perpendicular a la superficie en cada punto y puede expresarse como:

$$q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p$$

✓ Presión dinámica del viento, q_b

Por normativa, de forma simplificada como valor de cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D de la normativa, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

Consideraremos la instalación de esta torre en una zona topográfica considerada normal, ya que se supone situada emplazada en un polígono industrial y la presencia de otros edificios evita la exposición excesiva de la torre al viento.

✓ Coeficiente de exposición, c_e

Se considera variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza donde se encuentra la instalación.

Tabla 4.1 Valores del coeficiente de exposición C_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Como se ha considerado el estudio de una torre de 30 m y ubicada en una zona industrial, por lo que como coeficiente de exposición tenemos un valor de 2,6.

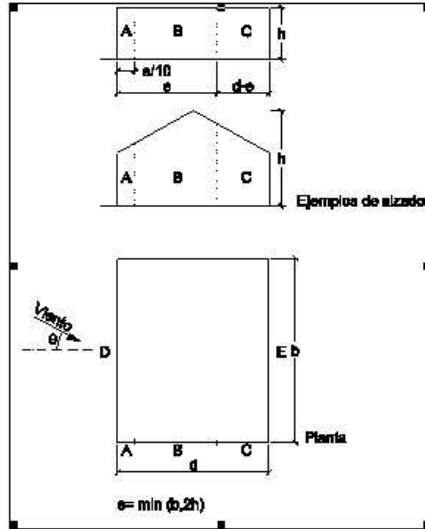
✓ Coeficiente eólico o de presión, c_p

Dependiente de la forma y la orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación respecto a los bordes de esa superficie, un valor negativo indica succión.

El coeficiente eólico será diferente para cada uno de los elementos sobre los que incida el viento, en este caso manejaremos 3 diferentes pues el viento incide sobre la torre y sobre los elementos instalados en ella con una superficie de incidencia considerable, como son antenas y parábolas.

En el caso de la estructura de la torre, lo asemejaremos según la norma a la Tabla D.3 Paramentos Verticales, en la cual consideramos que el $A > 1 \text{ m}^2$, $h/d > 5$ y la cara sobre la que incide el viento es D.

Tabla D.3 Paramentos verticales



A (m ²)	h/d	Zona (según figura), -45° < θ < 45°				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

Fig 4.4 Coeficiente presión exterior paramentos verticales

El coeficiente eólico se considera 0,8.

Finalmente podemos definir la acción del viento, q_e , sobre una torre de celosía de 30 m como:

$$q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,6 \cdot 0,8 = 1,04 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que calculando el área de incidencia sobre la torre,

➤ Cordones Verticales

Cada cordón vertical tendrá un área efectiva sobre la cual va a incidir el viento:

$$A = b \times h = \text{longitud} \times \text{perfil}$$

- Tramo I : IV - $A_{V1} = 5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} = 0,75 \text{ m}^2$
- Tramo V - $A_{V5} = 5 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} = 0,60 \text{ m}^2$
- Tramo VI - $A_{V6} = 5 \text{ m} \times 0,09 \text{ m} = 0,45 \text{ m}^2$

Para obtener la fuerza que aplica el viento en cada tramo, se multiplica el área de incidencia por la acción del viento;

$$F_V = q_e \cdot A_V$$

- Tramo I : IV - $F_{V1} = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 0,75 \text{ m}^2 = 0,78 \text{ kN}$
- Tramo V - $F_{V5} = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 0,60 \text{ m}^2 = 0,624 \text{ kN}$
- Tramo VI - $F_{V6} = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 0,45 \text{ m}^2 = 0,468 \text{ kN}$

Y finalmente se distribuye entre toda la longitud de cada pata vertical quedando una carga repartida uniforme.

- ❖ Tramo I : IV - $q_{V1} = 0,78 \text{ kN} / 5 \text{ m} = 0,156 \text{ kN/m} = 156 \text{ N/m}$
- ❖ Tramo V - $q_{V5} = 0,624 \text{ kN} / 5 \text{ m} = 0,125 \text{ kN/m} = 125 \text{ N/m}$
- ❖ Tramo VI - $q_{V6} = 0,468 \text{ kN} / 5 \text{ m} = 0,094 \text{ kN/m} = 94 \text{ N/m}$

Se realiza el mismo cálculo de fuerza para el resto de perfiles situados en la misma cara lateral de la torre, tanto de los diagonales como de los horizontales.

➤ Cordones Diagonales

Los cordones diagonales son del mismo tamaño a lo largo de todos los tramos de la torre

- $A_D = 2,17 \times 0,06 = 0,129 \text{ m}^2$
- $A_{D\text{Total}} = 36 \times 0,129 \text{ m}^2 = 4,64 \text{ m}^2$
- $F_D = q_e \cdot A_D = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 4,64 \text{ m}^2 = 4,826 \text{ kN}$
- ❖ $q_D = 4,826 \text{ kN} / 78,12 \text{ m} = 0,0617 \text{ kN/m} = 61,7 \text{ N/m}$

➤ Cordones horizontales

Existe un único cerramiento horizontal al final de cada cara de la torre, por lo que viento únicamente incidirá sobre una de ella directamente;

- $A_{DT} = 1,4 \times 0,06 = 0,084 \text{ m}^2$
- $F_H = q_e \cdot A_H = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 0,084 \text{ m}^2 = 0,087 \text{ kN}$

$$\diamond q_H = 0,087 \text{ kN} / 1,40 \text{ m} = 0,062 \text{ kN/m} = 62 \text{ N/m}$$

Como resumen a las cargas obtenidas en los cordones de la torre de celosía debido al viento son la siguiente;

Tabla 4.2 Tabla cargas de viento sobre torre celosía

	Tramos	Verticales	Diagonales	Horizontales
TRAMO I	0 m – 5 m	156 N/m	61,7 N/m	-
TRAMO II	5 m – 10 m	156 N/m	61,7 N/m	-
TRAMO III	10 m – 15 m	156 N/m	61,7 N/m	-
TRAMO IV	15 m – 20 m	156 N/m	61,7 N/m	-
TRAMO V	20 m – 25 m	125 N/m	61,7 N/m	-
TRAMO VI	25 m – 30 m	94 N/m	61,7 N/m	62 N/m

Además de incidir en los perfiles de la torre, el viento también ejercerá fuerzas sobre los elementos pasivos instalados sobre esta, como es el caso estudiado de antenas y reflectores parabólicos.

➤ Antenas Sectoriales

Según la norma SE-AE podemos asemejar la antena sectorial a un paramento vertical sobre el que índice el viento en un cara con un ángulo de inclinación de 0° . Por lo que obtenemos;

- $q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,6 \cdot 1 = 1,3 \text{ kN/m}^2$
- $A_{AS} = b \times h = 1,50 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,375 \text{ m}^2$
- $F_{AS} = q_e \cdot A_{AS} = 1,3 \text{ kN/m}^2 \times 0,375 \text{ m}^2 = 0,487 \text{ kN}$

Se ha de repartir la carga entre los 5 metros en los que se pueden situar estas antenas correspondientes al tramo 6 de la torre.

$$\diamond q_{AS} = 0,487 \text{ kN} / 5 \text{ m} = 0,097 \text{ kN/m} = 97 \text{ N/m}$$

Antenas Parabólicas

Para este caso, se considera la cubierta de forma esférica y por tanto el coeficiente eólico será de 0,8, según la tabla de CTE.

- $q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,6 \cdot 0,8 = 1,04 \text{ kN/m}^2$
- $A_{AS} = \pi r^2 = 3,1416 \times (0,30)^2 \text{ m} = 1,1304 \text{ m}^2$
- $F_{AS} = q_e \cdot A_{AS} = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 0,282 \text{ m}^2 = 1,1756 \text{ kN}$

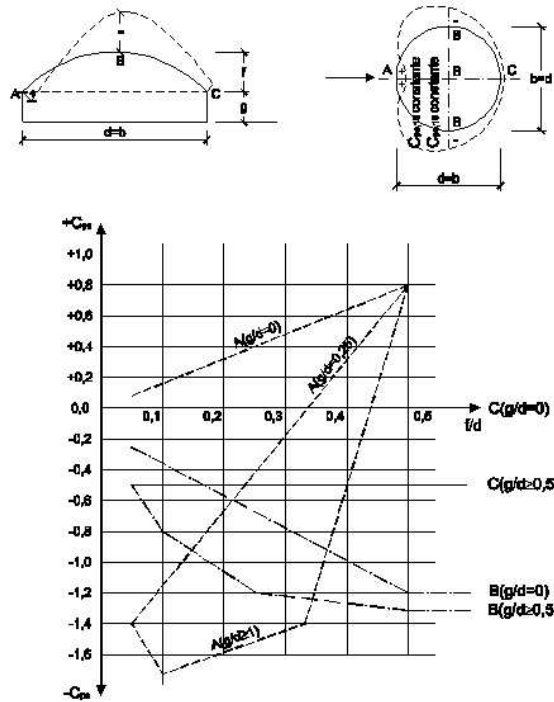
Se ha de repartir la carga entre los 5 metros en los que se pueden situar estas antenas correspondientes al tramo 5 de la torre.

$$\diamond q_{AS} = 1,1756 \text{ kN} / 5 \text{ m} = 0,235 \text{ kN/m} = 235 \text{ N/m}$$

La parábola va anclada a un Soporte que distribuye el peso en dos cordones verticales, por lo que definitivamente quedará;

$$\diamond q_{AS} = 235 \text{ N/m} / 2 = 117,5 \text{ N/m}$$

Tabla D.13 Cubiertas esféricas



Notas:

- $C_{pe,10}$ es constante a lo largo de cada uno de los arcos del círculo de intersección entre la esfera y los planos perpendiculares a la dirección del viento.
- Los valores de $C_{pe,10}$ a lo largo de los arcos de circunferencia paralelos a la dirección del viento se podrán determinar mediante interpolación lineal entre los valores en A, B, C.
- Para $0 < g/d < 1$ el coeficiente de presión exterior en A se obtendrá mediante interpolación lineal entre los valores indicados en la figura.
- Para $0 < g/d < 0,5$, los coeficientes de presión exterior en B y C se obtendrán mediante interpolación lineal entre los valores indicados en la figura.

Fig 4.5 Coeficiente presión exterior paramentos esféricos

En aquellos tramos en los que el viento incida sobre las antenas se toma como valor de dicha presión la suma que produce el viento sobre los perfiles en dicho tramo más la suma que produce sobre las antenas que van situadas, obteniéndose así un valor máximo que representa el estado más desfavorable al que puede estar sometida la torre.

Una vez calculada la acción que va ejercer el viento sobre el viento sobre los diferentes componentes de la torre de telefonía móvil, se ha determinar las posible configuraciones que se pueden dar en cuanto a la incidencia respecto a la torre.

Así que existen tres configuraciones diferentes, debido a que las antenas que van sobre la torre no son simétricas, que requieren ser estudiadas para determinar cuál es más desfavorable.

- ✓ Un primer caso corresponde a la configuración según la cual el viento incide sobre la cara dónde hay dos antenas sectoriales únicamente.
- ✓ Otro caso sería en el cual el viento incide sobre una cara dónde tan sólo encuentra una antena sectorial
- ✓ La última configuración posible corresponde a aquella en la cual el viento incide sobre una cara en la que hay una antena sectorial y el reflector parabólica.

Podrían estudiarse cada unos de estos casos por separado para determinar en qué tipo de configuración se dan las condiciones más adversas para la estructura, no obstante, se ha optado por definir un caso de carga que asegure que se va a trabajar en la condiciones más desfavorables. Este caso corresponde a una torre en la que, en una de sus caras, se sitúan simultáneamente dos antenas sectoriales y una parabólica. Se puede asegurar que esta disposición es la más exigente ya que en la misma cara coinciden todas las antenas posibles y la acción del viento sobre ella originará la configuración de cargas más desfavorable.

4.3 DISEÑO DE TORRE CELOSÍA EN ED-TRIDIM

A través del programa ED-Tridim, se diseñara una torre de celosía para obtener los esfuerzos y desplazamientos como resultado de las acciones propias y exteriores que las provocan.

Para iniciar el diseño de la estructura, se escoge el tipo de estructura celosía, estructura articulada tridimensional, es el modelo más sencillo al que podemos asemejar el tipo de estructura que queremos estudiar.

A continuación se enumeran todos los pasos necesarios para poder completar el diseño;

1.- Nudos

Se definirán como nudos todos los puntos dónde existan uniones atornilladas o puntos dónde se generen esfuerzos, para ello hemos de tener en cuenta las dimensiones de la torre según el anexo 1, dónde como medidas generales obtenemos;

- Altura torre: 30 m en tramos verticales de 5 m
- Ancho torre: 1,40 m

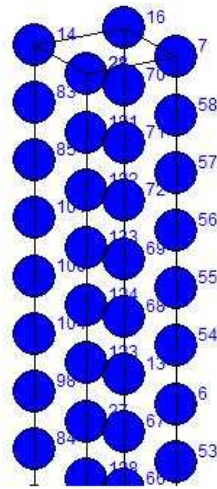


Fig 4.9 Creación de nudos para torre celosía

2.- Sección y material de perfiles

Se deben introducir todas las secciones de perfiles que se utilizarán para diseñar la torre. En el caso de la torre de celosía según el Anexo 1, se utiliza la siguiente perfilera;

Tabla 4.1 Perfiles torre celosía MADE

	Diagonales	Verticales
TRAMO I	L60x6	L150x18
TRAMO II	L60x6	L150x18
TRAMO III	L60x5	L150x16
TRAMO IV	L60x5	L150x14
TRAMO V	L60x4	L120x10
TRAMO VI	L60x4	L90x7

En cual consideraremos como altura el tamaño del perfil y como base su espesor.

La descripción de material, será la del acero con los siguientes datos;

- Módulo de Young = 21000000 N/cm^2
- Densidad = $0,00785 \text{ kg/cm}^3$

3.- Vigas

Con cada sección correspondiente, se definen las vigas o perfiles existentes de la torre entre los nudos definidos en el punto 1.

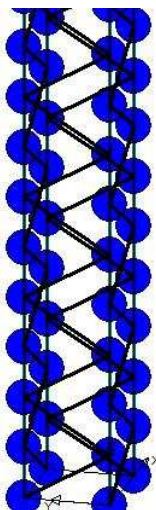


Fig 4.10 Creación de vigas para torre celosía

4.- Apoyos

Se deben colocar los apoyos correspondientes en el diseño de la estructura, en este caso de simplificación de la torre de celosía, colocaremos 4 apoyos fijos, sin traslación ni rotación en los 4 nodos situados en la base de torre, que consideramos sustituirán al anclaje y zapata de esta en su estado real.

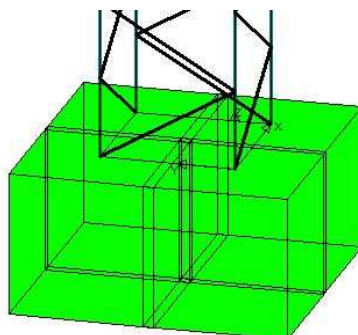


Fig 4.11 Creación apoyos para torre celosía

5.- Cargas

Por último, para definir el estado simplificado de estructura, se definen la cargas que actúan sobre la torre calculada en el apartado 4.2, respecto a la cargas de antenas como a la carga generada por la acción del viento.

En el caso de la carga de antenas, se consideran como esfuerzos puntuales aplicados en aquellos puntos en las cuales las antenas están ancladas al tramo de torre correspondiente.

Para las cargas respecto al viento, se consideran cargas uniformemente repartidas sobre los perfiles correspondientes. Teniendo en cuenta que en los tramos V y VI se obtiene como resultado, la carga la acción generada por el viento sobre la estructura más la acción generada por el viento sobre las antenas, sectoriales para el tramo VI y parabólica para el tramo V.



Fig 4.12 Diseño de torre celosía ED-Tridim

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Desplazamientos

Se reflejan a continuación los resultados correspondientes a los desplazamientos obtenidos para el diseño realizado en el apartado anterior para una torre de celosía para telefonía móvil.

Tabla 4.2 Resultado desplazamiento para torre celosía

Nudo (m)	Desplazamientos (m)
0,00	0,0000
5,00	0,0085
10,00	0,0307
15,00	0,0630
20,00	0,1010
25,00	0,1330
30,00	0,1420



Fig. 4.13 Grafica deformada torre celosía

Los datos de la tabla 4.2, corresponden a los desplazamientos que sufre el nodo más crítico de las estructura a cada altura de la torre, pues como se puede observar en la Fig. 4.13, este corresponde a la cara opuesta de la torre a la cual, el viento incide, generando la fuerza correspondiente a este desplazamiento.

A medida que se incrementa la altura de la torre, es decir nos alejamos del anclaje o empotramientos y de disminuyen los perfiles, se generan mayores desplazamiento.

4.4.2 Reacciones en apoyos

A continuación se detallan los resultado obtenidos para la reacciones en los apoyos considerandos para el diseño de una estructura de celosía móvil.

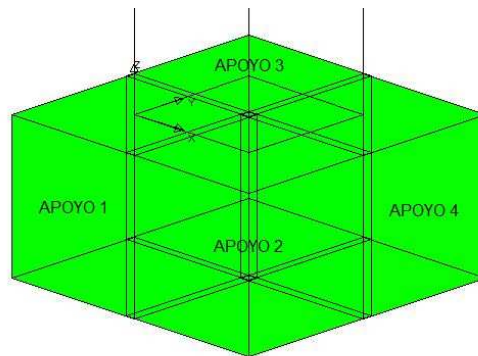


Fig. 4.13 Numeración apoyos torre celosía

En la fig. 4.13 se realizar un numeración de nodos, debido a como se comentó a lo largo de la memoria se sustituye el anclaje que se realiza en su instalación, por un empotramiento en los 4 tramos verticales, sin traslación ni desplazamiento para realizar el diseño correspondiente, y se obtienen los resultado de la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Resultados reacción en apoyos para torre celosía

Reacciones	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
Apoyo 1	2.690,00	-5.500,00	604.000,00
Apoyo 2	894,00	-3.800,00	537.000,00
Apoyo 3	-64,20	-4.360,00	587.000,00
Apoyo 4	-3.520,00	-632,00	649.000,00
Momentos	Mx (N.m)	My (N.m)	Mz (N.m)
Apoyo 1	45.200,00	-19.900,00	-3.890,00
Apoyo 2	82.900,00	14.800,00	-1.890,00
Apoyo 3	24.100,00	-4.440,00	-1.950,00
Apoyo 4	11.800,00	2.160,00	-1.080,00

Las reacciones en el eje Z son en todos los nodos parecidos, pues para todos ellos se soporta el peso propio de la torre, exceptuando en el apoyo dónde existen cargas puntuales.

Sin embargo vemos como los valores para los ejes Y y Z, son significativamente que en Z debido a que únicamente se generan las fuerzas generadas por el viento que son mucho menores al peso propio de la estructura.

4.4.3 Comprobación límite elástico

Cómo última comprobación para poder concluir con el apartado de resultados, se realiza la comprobación del límite elástico del acero S-275-R, en todos los tramos de la torre, en la cara con perfiles que tiene mayor esfuerzo, para comprobar que es menor al valor teórico para este tipo de material y comprobar que el diseño planteado por el fabricante es válido.

$$\sigma_{adm} = F/A$$

Siendo;

$$\sigma_{adm} = 2800 \text{ kg/cm}^2 \text{ para el acero S-275-R}$$

F = Esfuerzo mayor en la torre, punto crítico, analizando la estructura obtenemos este valor en los perfiles verticales, son los de mayor sección y los que se encuentran expuestos a mayores reacción debido a que la torre flexa sobre el anclaje debido a la acción del viento, en los perfiles contrarios a donde se ejerce la acción del viento.

Los resultados para las reacciones interiores en los perfiles verticales según los datos obtenidos por el programa ED-Tridim, tras llevar a cabo el diseño y ejercicio son las siguientes;

Tabla 4.4 Resultados esfuerzos interiores perfiles verticales

		Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
Tramo I	0 m-5 m	629.000,00	619,00	-3.190,00
Tramo II	5 m-10 m	499.000,00	619,00	-3.190,00
Tramo III	10 m -15 m	372.000,00	621,00	-3.240,00
Tramo IV	15 m -20 m	258.000,00	616,00	-3.240,00
Tramo V	20 m -25 m	136.000,00	-31,20	-6.410,00
Tramo VI	25 m -30 m	61.400,00	-81,60	-2.190,00

A = Área sobre la que se genera la fuerza, en este caso los mayores esfuerzos se generan sobre los perfiles verticales en tramo de 5 m. Recurriendo a la tabla 4.1, dónde se indicaban los tipos de perfiles indicados según el tramo correspondiente obtenemos las siguientes áreas;

Siendo $A = b \times h$

Tabla 4.5 Áreas perfiles verticales

	Perfiles Verticales (mm)	A (cm ²)
TRAMO I	L150x18	270
TRAMO II	L150x18	270
TRAMO III	L150x16	240
TRAMO IV	L150x14	210
TRAMO V	L120x10	120
TRAMO VI	L90x7	63

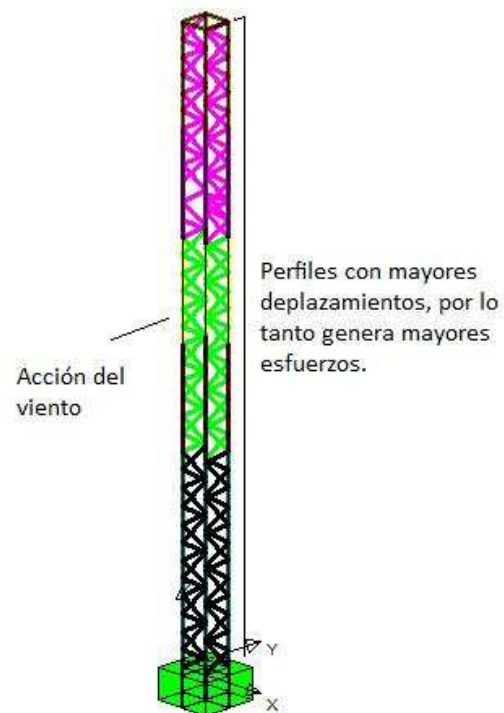


Tabla 4.14 Perfiles verticales con mayores esfuerzos en torre celosía.

Por lo que se obtiene,

Tabla 4.6 Tabla esfuerzos en perfiles verticales

		F (N)	A (cm ²)	σ (N/cm ²)	σ (kg/cm ²)
Tramo I	0 m-5 m	629.000,00	27	23.296,30	2.374,75
Tramo II	5 m-10 m	499.000,00	27	18.481,48	1.883,94
Tramo III	10 m -15 m	372.000,00	24	15.500,00	1.580,02
Tramo IV	15 m -20 m	258.000,00	21	12.285,71	1.252,37
Tramo V	20 m -25 m	136.000,00	12	11.333,33	1.155,28
Tramo VI	25 m -30 m	61.400,00	6,3	9.746,03	993,48

Como se puede observar todos los valores obtenidos para los esfuerzos generados en los perfiles verticales son inferiores al valor del límite elástico considerado para el material utilizado, y está ofreciendo la resistencia necesaria para los cálculos de cargas realizados.

En los últimos tramos los esfuerzos generados son menores, por lo que aún podrían soportar más cargas, sería posible poder equipar la torre con algún elemento externo como antenas adicionales o parábolas.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y ANÁLISIS DE TORRE DE TELEFONÍA MÓVIL MONOPOLO O TUBULAR

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Este tipo de estructura será realizada con tubos de acero de diferentes diámetros y espesores, en función de la altura. Dichos tubos irán unidos entre sí mediante bridas ocultas. Con este sistema de bridas ocultas se consigue una unión segura entre los tramos de la torre, evitando así todos los problemas de deslizamiento, a la vez que se mejora la estética de la misma al quedar las bridas disimuladas.

Los tubos a utilizar serán normalizados con soldadura longitudinal, calidad AE275 de 2800 kg/cm² de límite elástico. Como protección frente a la corrosión, la estructura irá galvanizada en caliente. La tortillería de las distintas uniones será galvanizada, del tipo DIN-7990, provista de una arandela plana en la calidad 8.8.

La estructura de conectará con un cable de cobra desnudo, grapado a la escalera, a la toma de tierra formado por un anillote cable desnudo, conectado a 4 picas de longitud y 7 mm de diámetro.

El acceso la antenas se realizará mediante una escalera vertical formada por perfiles L de 50 x 5 mm con peldaños de redondo de acero = 20 mm, separados entre sí 250 mm. El ancho de la escalera será de 500 mm. El sistema de seguridad en la escalera será el homologado por el operador correspondiente.



Fig 5.1 Torre tubular 20 m

Para la bajada de cables de antenas, el mástil va provisto de un recorrido vertical de guías, formado por un perfil L de 45 x 4 mm de 450 mm de longitud adosado a un montante de la escalera

En el Anexo 2, se muestra plano del fabricante para el diseño de la torre de tubular a utilizar en este proyecto, en el cuál quedan reflejadas los tramos diseñados y las secciones de torre empleadas.

5.2 CÁLCULO CARGAS

Para el cálculo de cargas en la torre tubular o monopolo, se consideran las mismas premisas que para la torre de celosía. Consideramos cargas debido al peso propio de las antenas y reflectores parabólicos, y las cargas debido a la incidencia de viento sobre las diferentes secciones de la torre tubular de telefonía móvil y los elementos que esta soporta, y tiene la misión de llevar a cabo la comunicación.

Para el resto de acciones no se van a considerar aplicables, como la de hielo o nieve, debido a la pequeña superficie de incidencia, las acciones térmicas no van a ocasionar problemas sobre la estructura, ya que en ningún caso va a haber variaciones bruscas de temperatura hasta el punto en que se ponga en peligro la estabilidad de la torre o las sísmicas por no considerarse este tipo de torre ligera y de importancia moderada.

5.2.1 Cargas debido a las antenas

El cálculo de cargas a las antenas, es idéntico al realizado para torres de celosía pues la configuración de antenas según su altura es similar, se utiliza la parte superior, el tramo de menor sección para ubicar las antenas sectoriales y el siguiente tramo, o tramo 3 de mayor sección, para colocar los reflectores parabólicos

Se colocarán 3 antenas sectoriales de tipos panel que abarcan un ángulo de 120° cada una proporcionando así, cobertura en los 360° en torno a la torre.

Tomaremos como datos de las antenas propuestas anteriormente en la torre de celosía para poder realizar la comprobación correspondiente basándonos en las mismas condiciones de uso.

$$q_{AS} = 12 \text{ kg} = 120 \text{ kN}$$

Al considerar que esta carga ha de ser considerada como repartida, se distribuye dicho valor a lo largo de los 6 metros del tramo vertical correspondiente a la sección donde van situadas dichas antenas.

$$q_{AS} = 120/6 = 20 \text{ N/m}$$

Por su parte, la antena parabólica va a ir instalada en el tramo 3 de la torre, de sección 406,4 cm y una longitud de 6 m (tramo comprendido entre los 18 y los 24 m).

El reflector parabólico pesa 50 kg aproximadamente, por lo que dicha carga también va a estar repartida entre los 6 m de longitud del tramo correspondiente, por lo que se obtiene:

$$q_{AP} = 50 \text{ kg} = 250 \text{ N}$$

$$q_{AP} = 250/6 = 41,66 \text{ N/m}$$

5.2.2 Cargas debido acción variable: viento

Se consideran las cargas al viento, igual que en la torre de celosía, todos aquellos elementos de superficie considerable sobre los cuales el viento incide.

Volvemos a definir la acción del viento, q_e , una fuerza perpendicular a la superficie en cada punto y puede expresarse como:

$$q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p$$

✓ Presión dinámica del viento, q_b

Por normativa, de forma simplificada como valor de cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo D de la normativa, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

Consideraremos la instalación de esta torre en una zona topográfica considerada normal, ya que se supone situada emplazada en un polígono industrial y la presencia de otros edificios evita la exposición excesiva de la torre al viento.

✓ Coefficiente de exposición, c_e

Se considera variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza donde se encuentra la instalación.

Como hemos considerado, estamos estudiando las cargas para un torre de 30 m y ubicada en una zona industrial, por lo que como coeficiente de exposición tenemos un valor de 2,6 (de la Fig 4.4).

✓ Coefficiente eólico o de presión, c_p

Dependiente de la forma y la orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación respecto a los bordes de esa superficie, un valor negativo indico succión.

El coeficiente eólico será diferente para cada unos de los elementos sobre los que incida el viento, en este caso manejaremos 3 diferentes pues el viento incide sobre la torre y sobre los elementos instalados en ella con una superficie de incidencia considerable, como son antenas y parábolas.

Para el caso de la torre, debido a forma cilíndrica y su sección circular, según el CTE (Tabla D.13) podemos considerar esta torre tubular como una cubierta esférica, por lo que obtenemos el valor de coeficiente de presión de la Fig. 4.6

Tomamos como valores, $g = 0$ y $f/d = 0,5$, por tratase de sección una sección circular.

Por lo tanto obtenemos que el valor del coeficiente eólico en este caso de 0,8.

Finalmente podemos definir la acción del viento, q_e , sobre una torre de celosía de 30 m como:

- $q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,6 \cdot 0,8 = 1,04 \text{ kN/m}^2$

Por lo que calculando el área de incidencia sobre la torre, se obtienen las cargas que actúan sobre esta. Consideramos el área de incidencia de cada sección, como un rectángulo recto, en el que se considera la altura y el diámetro de la sección correspondientes como base.

- Tramo I – $A_1 = b \times h = 0,812 \text{ m} \times 6,4 \text{ m} = 5,196 \text{ m}^2$
- Tramo II – $A_2 = b \times h = 0,609 \text{ m} \times 11,6 \text{ m} = 7,064 \text{ m}^2$
- Tramo III – $A_3 = b \times h = 0,406 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 2,436 \text{ m}^2$
- Tramo IV – $A_4 = b \times h = 0,271 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 1,626 \text{ m}^2$

Para obtener la fuerza que aplica el viento en cada tramo, se multiplica el área de incidencia por la acción del viento;

$$F_v = q_e \cdot A$$

- Tramo I - $F_1 = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 5,196 \text{ m}^2 = 5,404 \text{ kN}$
- Tramo II – $F_2 = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 7,064 \text{ m}^2 = 7,346 \text{ kN}$
- Tramo III – $F_3 = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 2,436 \text{ m}^2 = 2,533 \text{ kN}$
- Tramo IV – $F_4 = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 1,626 \text{ m}^2 = 1,691 \text{ kN}$

Y finalmente se distribuye entre toda la longitud de cada tramo vertical quedando una carga repartida uniforme.

- ❖ Tramo I- $q_1 = 5,404 \text{ kN} / 6,4 \text{ m} = 0,844 \text{ kN/m} = 844 \text{ N/m}$
- ❖ Tramo II – $q_2 = 7,346 \text{ kN} / 11,6 \text{ m} = 0,633 \text{ kN/m} = 633 \text{ N/m}$
- ❖ Tramo III – $q_3 = 2,533 \text{ kN} / 6 \text{ m} = 0,422 \text{ kN/m} = 422 \text{ N/m}$
- ❖ Tramo IV – $q_4 = 1,691 \text{ kN} / 6 \text{ m} = 0,282 \text{ kN/m} = 282 \text{ N/m}$

Además de incidir en los tramos de la torre con diferente sección, el viento también ejercerá fuerzas sobre los elementos pasivos instalados sobre esta, como es el caso que hemos estudiado de antenas y reflectores parabólicos (ídem torre celosía).

➤ Antenas Sectoriales

Según la norma SE-AE podemos asemejar la antena sectorial a un paramento vertical sobre el que índice el viento en un cara con un ángulo de inclinación de 0° . Por lo que obtenemos;

- $q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,6 \cdot 1 = 1,3 \text{ kN/m}^2$
- $A_{AS} = b \times h = 1,50 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 0,375 \text{ m}^2$
- $F_{AS} = q_e \cdot A_{AS} = 1,3 \text{ kN/m}^2 \times 0,375 \text{ m}^2 = 0,487 \text{ kN}$

Se ha de repartir la carga entre los 6 m en los que se pueden situar estas antenas correspondientes al tramo 4 de la torre tubular de sección 273,1 mm

$$\diamond q_{AS} = 0,487 \text{ kN} / 6 \text{ m} = 0,081 \text{ kN/m} = 81 \text{ N/m}$$

➤ Antenas Parabólicas

Para este caso, se considera la cubierta de forma esférica y por tanto el coeficiente eólico será de 0,8.

- $q_e = q_p \cdot c_e \cdot c_p = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,6 \cdot 0,8 = 1,04 \text{ kN/m}^2$
- $A_{AS} = \pi r^2 = 3,1416 \times (0,30)^2 \text{ m} = 1,1304 \text{ m}^2$
- $F_{AS} = q_e \cdot A_{AS} = 1,04 \text{ kN/m}^2 \times 0,282 \text{ m}^2 = 1,1756 \text{ kN}$

Se ha de repartir la carga entre los 6 m en los que se pueden situar estas antenas correspondientes al tramo 3 de la torre de sección 406,4 mm

$$\diamond q_{AS} = 1,1756 \text{ kN} / 6 \text{ m} = 0,196 \text{ kN/m} = 196 \text{ N/m}$$

En aquellos tramos en los que el viento incida sobre las antenas se toma como valor de dicha presión la suma que produce el viento sobre los perfiles en dicho tramo más la suma que produce sobre las antenas que van situadas, obteniéndose así un valor máximo que representa el estado más desfavorable al que puede estar sometida la torre.

En esto caso una vez calculada la acción del viento sobre la torre, nos queda como realizamos en el caso de la torre de celosía, se debe analizar el caso más desfavorable sobre el que puede actuar este, para llevar a cabo la comprobación del modelo.

Así también existen tres configuraciones diferentes, debido a que las antenas que van sobre la torre no son simétricas, se reparten alrededor de un tubo de sección circular normalmente equidistantes de la torre y de ellas mismas.

Por lo que los posibles caso a estudiar son los siguientes,

- ✓ Primer caso, según el cual el viento incide sobre la cara dónde únicamente exista una antena sectorial.
- ✓ Segundo caso, según el cual el viento incide sobre la cara dónde únicamente exista instalado un reflector parabólico.

- ✓ Tercer caso, en aquel según el cual el viento incide sobre la cara dónde existe instalada una antena en el tramo 4 de la torre y un reflector parabólico en el sector 3.

Podemos asegurar que el tercer caso es la más exigente ya que en la misma cara coinciden todas las antenas posibles y la acción del viento sobre ella originará la configuración de cargas más desfavorable.

5.3 DISEÑO DE TORRE TUBULAR EN ED-TRIDIM

Como realizamos en el apartado 4, través del programa ED-Tridim, se diseñará una torre de tubular para obtener los esfuerzos y desplazamientos como resultado de las acciones propias y exteriores que las provocan.

Para iniciar el diseño de la estructura, en este caso vamos a escoger la opción de viga, sería una viga cilíndrica o cuadrada perfecta, consideramos que es el tipo de estructura más sencillo al que podemos asemejar este tipo de torre.

A continuación se enumeran todos los pasos necesarios para poder completar el diseño;

1.- Nudos

Se definirán como nudos todos los puntos dónde existan uniones, cambios de sección o puntos dónde se generen esfuerzos debidos a estos, para ello hemos de tener en cuenta las dimensiones de la torre según el anexo 2.

2.- Sección y material de perfiles

Se deben introducir todas las secciones de perfiles que se utilizarán para diseñar la torre. En el caso de la torre de celosía según el Anexo 2, se detalla en diámetro de cada sección de la torre;

Tabla 5.1 Diámetro-espesor torr tubular por tramos

	Tramos	Diámetro x espesor (mm)
TRAMO I	0 m – 6,40 m	812,8 x 7,9
TRAMO II	6,40 m – 18 m	609,6 x 6,4
TRAMO III	18 m – 24 m	406,4 x 10
TRAMO IV	24 m – 30 m	273,1 x 8

En este caso asemejamos la sección circular de la torre, a una viga de sección cuadrada cuya base y altura será la del diámetro de esta.

Como descripción de material, será la del acero con los siguientes datos;

- Módulo de Young = 21000000 N/cm²
- Densidad = 0,00785 kg/cm³

3.- Vigas

Con cada sección correspondiente, se definen las vigas o perfiles existentes de la torre entre los nudos definidos en el punto 1.

4.- Apoyos

Se deben colocar los apoyos correspondientes en el diseño de la estructura, en este caso de simplificación de la torre de tubular, colocaremos un único apoyos fijos, sin traslación ni rotación en el nodo situado en la base de torre, que consideramos sustituirán al anclaje y zapata de esta en su estado real.



Fig 5.2 Diseño nudos, vigas y apoyo torre tubular

5.- Cargas

Por último, para definir el estado simplificado de estructura, hemos de definir la cargas que actúan sobre la torre calculada en el apartado 5.2, respecto a la cargas de antenas como a la carga generada por la acción del viento.

En el caso de la carga de antenas, se consideran como esfuerzos puntuales aplicados en aquellos puntos en las cuales las antenas está anclada al tramo de torre correspondiente.

Para las cargas respecto al viento, se consideran cargas uniformemente repartidas sobre los perfiles correspondientes. Teniendo en cuenta que en los tramos II y IV tenemos como resultado, la carga la acción generada por el viento sobre la estructura más la acción generada por el viento sobre las antenas, sectoriales para el tramo IV y parabólica para el tramo III.

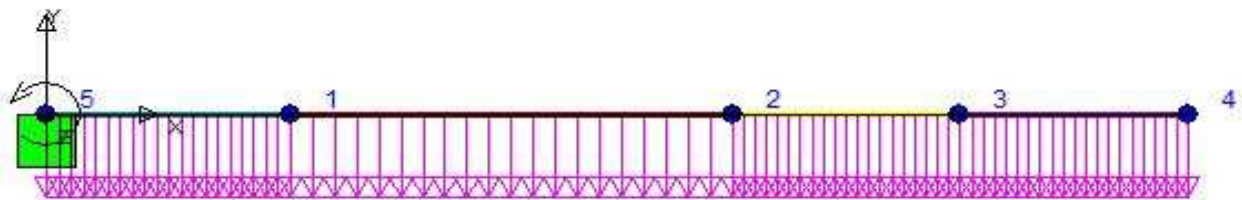


Fig 5.3 Diseño final torre tubular en ED-Tridim

5.4 RESULTADOS

5.4.1 Desplazamientos

Se reflejan a continuación los resultados correspondientes a los desplazamientos obtenidos para el diseño realizado en el apartado anterior para una torre de tubular o monopolo para telefonía móvil.

Tabla 5.2 Resultado desplazamiento para torre celosía

Nudo (m)	Desplazamientos (m)
0,00	0,0000
6,40	0,0239
18,00	0,2020
24,00	0,3460
30,00	0,5200

Los datos de la tabla 5.2, corresponden a los desplazamientos que sufre el nodo más crítico de las estructura a cada altura de la torre, pues como se puede observar en la Fig. 5.4, a medida que aumenta la altura, o nos distanciamos del anclaje y disminuye la sección de la perfilería de la torre, el desplazamiento generado por las acciones exteriores es mayor, hasta de llegar el punto que hemos de realizar la comprobación del límite elástico del acero.

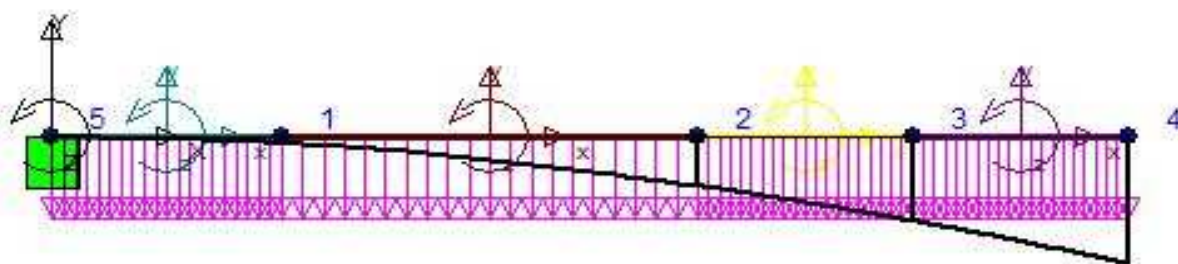


Fig 5.4 Gráfica de la deformada en la torre tubular

5.4.2 Reacciones en los apoyos

Para el caso de diseño de la torre tubular, considerado como una viga, únicamente existe un apoyo, considerado empotramiento, es decir sin traslación ni desplazamiento, que sustituye en este caso al anclaje que habitualmente se construye en su instalación.

En este caso, al ser considerado al modelo simplificado de viga, únicamente generamos reacciones en el eje en el que está considerado esta.

Tabla 5.2 Resultado reacciones en apoyos para torre tubular

Reacciones (N)	1.040.000,00
Momentos (N.m)	10.090.000,00

5.4.3 Comprobación límite elástico

Cómo última comprobación, igual que se realizó para el otro modelo de torre, para poder concluir con el apartado de resultados, se realiza la comprobación de límite elástico del acero S-275-R, en el punto más crítico, es decir con el mayor esfuerzo, para comprobar que es menor al valor teórico para el tipo de acero con el que se construye la torre.

$$\sigma_{adm} = F/A$$

Siendo;

$$\sigma_{adm} = 2.800 \text{ kg/cm}^2 \text{ para el acero S-275-R}$$

F = Esfuerzo mayor en la torre, punto crítico, analizando la estructura obtenemos este valor en los perfiles verticales, son los de mayor sección y los que se encuentran expuestos a mayores reacción debido a que la torre flexa sobre el anclaje debido a la acción del viento, en los perfiles contrarios a donde se ejerce la acción del viento.

Los resultados para las reacciones interiores en los perfiles verticales según los datos obtenidos por el programa ED-Tridim, tras llevar a cabo el diseño y ejercicio son las siguientes;

Tabla 5.3 Resultados esfuerzos interiores para torre tubular

		Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)
Tramo I	0 m – 6,40 m	61.400,00	1.040.000,00	-2.190,00
Tramo II	6,40 m – 18 m	61.400,00	621.000,00	-2.190,00
Tramo III	18 m – 24 m	61.400,00	181.000,00	-2.190,00
Tramo IV	24 m – 30 m	61.400,00	54.900,00	-2.190,00

A = Área sobre la que se genera la fuerza, en este caso los mayores esfuerzos se generan sobre los tramos verticales de la torre de diferente sección. Recurriendo a la tabla 5.1, dónde se indicaban los tipos de sección utilizados según el tramo correspondiente obtenemos las siguientes áreas;

$$\text{Siendo } A_{total} = A_{ext} - A_{int} \text{ y } A = \pi r^2$$

Tabla 5.4 Áreas tramos verticales diferente sección

	Diám x esp (mm)	Aext (cm2)	Aint (cm2)	A (cm2)
TRAMO I	812,8 x 7,9	5.181,04	5.088,32	92,72
TRAMO II	609,6 x 6,4	2.918,64	2.857,68	60,96
TRAMO III	406,4 x 10	1.297,17	1.234,12	63,05
TRAMO IV	273,1 x 8	585,78	551,96	33,82

Por lo que se obtiene como esfuerzos generados en cada tramo;

		F (N)	A (cm ²)	σ (N/cm ²)	σ (kg/cm ²)
Tramo I	0 m – 6,40 m	1.040.000,00	92,72	11.216,57	1.143,38
Tramo II	6,40 m – 18 m	621.000,00	60,96	10.187,01	1.038,43
Tramo III	18 m – 24 m	181.000,00	63,05	2.870,74	292,63
Tramo IV	24 m – 30 m	54.900,00	33,82	1.623,30	165,47

El valor de la tensión en el punto a largo de todas las secciones de la torre tubular, es inferior al límite elástico del acero utilizado para la fabricación de este modelo de torre, por lo que podemos considerar que está tiene un diseño correcto.

El punto crítico que es el tramo I cumple dicha condición, una vez hallado esta se puede considerar que el diseño por completo lo cumple, en el resto de tramos disminuyen los esfuerzos, pues además de tener un coeficiente de seguridad, estas torres también están capacitadas para poder albergar algún elemento externo más, tanto antenas como radioenlaces.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 CONCLUSIONES

Tras el estudio y cálculo realizados para las torres de telefonía móvil, con los modelos de estructura de celosía y tubular, y en base a los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto, se obtienen las siguientes conclusiones:

- ❑ Se ha establecido un procedimiento de diseño para torres de soporte de antenas de telefonía móvil en base al tamaño de perfiles utilizados, tanto en los cordones como en los diagonales. En este caso, a partir de las especificaciones del fabricante se ha comprobado la fiabilidad y resistencia de la estructura para ambos tipos de torre tomando como referencia el límite elástico del material utilizado, pudiendo observar que ambas torres están adecuadamente dimensionadas.
- ❑ Según los resultados obtenidos, se encuentra una explicación a la disminución de la secciones de la torre a medida que aumenta la altura, pues se observa que los esfuerzos disminuyen, haciendo que también el material requiera un menor límite elástico que, a su vez, disminuirían las sobrecargas por viento en la torre, trayendo consigo un consecuente ahorro de materia prima y de los costes de la obra civil.
- ❑ En todas las secciones de ambas torres se obtienen valores de tensión inferiores al límite elástico del acero, lo que indica que aún existe se podrían cargar las torres con elementos externos adicionales, es decir, cada torre podría albergar alguna antena o parábolas en los tramos superiores que es en los puntos donde mayor diferencia existe entre los esfuerzos generados y el límite elástico del acero.
- ❑ Se han calculado respecto al Código Técnico de la Edificación (CTE) las cargas y los esfuerzos que generan estas sobre cualquier estructura en unas condiciones consideradas normales; esto es, sin sobrecarga sísmica, ni sobrecarga por hielo o nieve.
- ❑ Se ha verificado que las mayores tensiones que se producen en la torre son debidas a las cargas que genera el viento. De todas las acciones que pueden actuar sobre la estructura, es la debida al viento la más significativa y la que determina en última instancia el tipo de perfiles que se han de utilizar, ya que las cargas muertas debido a elementos radiantes que se sitúan en la torre, generan tensiones pero estas no son muy grandes, pues estos sistemas son ligeros y una estructura de acero puede albergarlos sin generar mayores esfuerzos. El resto de acciones que pueden actuar sobre la torre tiene una aportación de esfuerzos insignificante en las condiciones normales consideradas.
- ❑ En el estudio de los distintos tipos de torre, se pueden resumir los resultados obtenidos para los dos tipos de torre, según el fundamento teórico y el análisis de ambos modelos estudiados a lo largo del proyecto. En cuanto a la torre de celosía, tiene como puntos positivos el hecho de ser menos robusta, de tener un menor coste y una mayor facilidad de transporte, pues los elementos se trasladan flejados para su montaje en obra. La estructura

tubular por el contrario es más robusta y suele suministrarse ensamblada desde fábrica, por lo que suele tener dimensiones que hacen difícil su manejo y transporte.

- ❑ La torre tubular supone un mayor coste frente a la de celosía, ya que se emplea mayor cantidad de material como se puede inferir del fundamente teórico.
- ❑ El impacto visual de la torres tubular es menor que el de la torre de celosía, por ser más discreta y porque habitualmente se pintan del color del entorno para darle armonía con el paisaje y cuenca visual.
- ❑ Durante el diseño de la torre tubular ha sido notorio el inconveniente que tenía modelizar apropiadamente el peso propio de la estructura, pues cualquier componente de dichas cargas suele actuar como un axil y, por ende, su efecto pierde representatividad en el estado de tensiones que experimenta la estructura; en resumen, se subestima la acción del peso propio.
- ❑ El programa de cálculo estructural ED-TRIDIM es una herramienta muy eficaz para las fases de análisis preliminar debido a su capacidad de cálculo y su sencilla interfaz de usuario, que tiene unas aceptables prestaciones, pudiendo generar múltiples casos de cálculo a partir de un modelo simplificado.

6.2 TRABAJOS FUTUROS

Para enriquecer el estudio realizado mediante este proyecto sería conveniente llevar acabo una serie de tareas, entre las cuales se pueden citar las siguientes:

- ❑ *Diseño de la cimentación y anclaje de la torre:* En este proyecto no se ha diseñado en detalle la cimentación y anclaje que ha de tener la estructura, lo cual sería necesario para completar su diseño preliminar.
- ❑ *Diseño de uniones:* Sería interesante desarrollar esta tarea para tener mucho más detalle de la estructura y poder hacer una estimación de costos de fabricación.
- ❑ *Modelización de la estructura utilizando otro código computacional:* El código computacional que se ha empleado es muy básico y no permite incluir modelos de comportamiento y de daño para diferentes materiales, ni diferentes interacciones en los puntos de unión, por lo que es conveniente hacer la modelización con otro código computacional que tenga mayores prestaciones.
- ❑ *Presupuesto de obra civil:* Para hacerse una idea del alcance que puede tener la obra civil involucrada en la fabricación de las estructuras (de celosía y tubular), es interesante realizar un presupuesto del coste que ello supondría.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BUITRAGO PEREZ, BRENDA; IRAUISQUÍN CASTRO, IGNACIO. *Prácticas de Laboratorio – Aplicación de métodos computacionales para cálculo de esfuerzos*. Universidad Carlos III de Madrid. 2008
- [2] CARRASCO MARTÍNEZ, ALFONSO. *Optimización del diseño de una torre de celosía de 40 metros portadora de antenas*. Universidad Carlos III de Madrid. 2008
- [3] DOCUMENTO BÁSICO SE-AE. Seguridad Estructural Acciones en la Edificación, 2009.
- [4] ESPINOSA DE LOS MONTEROS, JULIAN. LÓPEZ GÓMEZ, OSCAR. *Técnico de Telecomunicaciones*, EDITORIAL CULTURAL, 2002
- [5] GERE JAMES M, Timoshenko Resistencia de Materiales. Quinta edición. PARANINFO, 2002
- [6] KATHREIN. *Base Station Antennas for Mobile Communications*. 2010
- [7] MADE. *Estructuras para antenas: Proyecto de torres de celosía estándar para instalación de antenas de Telecomunicaciones*. 2000.
- [8] MESEGUER, J; SANZ, A; PERALES, J.M ; PINEDO, S; *Aerodinámica Civil. Cargas de viento en las edificaciones*, EDITORIAL MCGRAW HILL PROFESIONAL, 2007.
- [9] MOYANO, S.A; URL: www.moyano.com. 2007.
- [10] OCAÑA, SANDRA. *Telefonía celular (móvil). Funcionamiento y generaciones*. MAILXMAIL. 2009.
- [11] SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MONTAJES INDUSTRIALES S.A. *Mástiles tubulares autosoportados para DCS TIP ML-30*. 1999.
- [12] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, URL: www.upv.es/antenas/
- [13] URL: www.construaprende.com/telecomunicaciones. 2008.

ANEXOS



MADE Torres y Herrajes, S.A.
Ctra. Pozoblanco, km.1 Medina del Campo
47400 VALLADOLID (ESPAÑA)

TORRE AIRTEL TIPO 2
CELOSLA "NORMAL"
Expte. 20135

9610101-01D.dwg

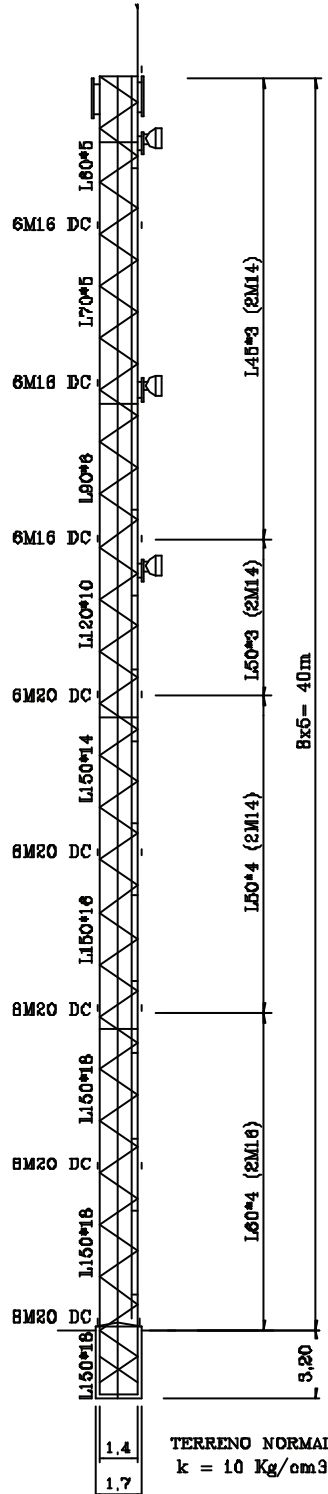
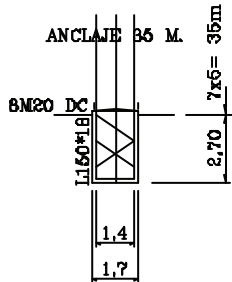
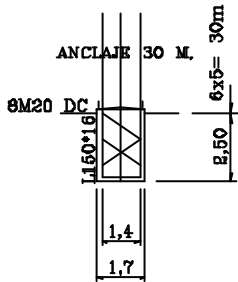
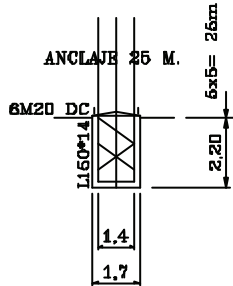
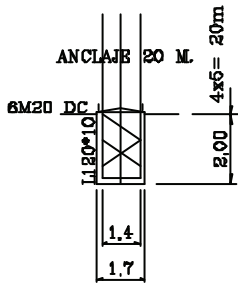


MADE Torres y Herrajes
MTH-DI-AIR-304-MI-010

Estructuras para antenas:
Proyecto de torres de celosía estándar para
instalación de antenas de telecomunicaciones

Revisión: 00

Fecha: 11.11.03



NOTAS:

- Todas las cotas en m
- Material marcado "H": S355 JO (según UNE EN 10025). Resto de material: S275 JR
- Tornillería: calidad 5.6 (según UNE-EN 20898). Dimensiones según DIN 7990, DIN 7989 y DIN 555.
- Uniones a simple cortadura: "SC" o no indicado. Uniones a doble cortadura: "DC"
- Galvanizado en caliente según UNE 37507 y UNE-EN ISO 1461
- Plataformas de descanso con rejilla tipo "trames"

Edición

A B C D

Fecha

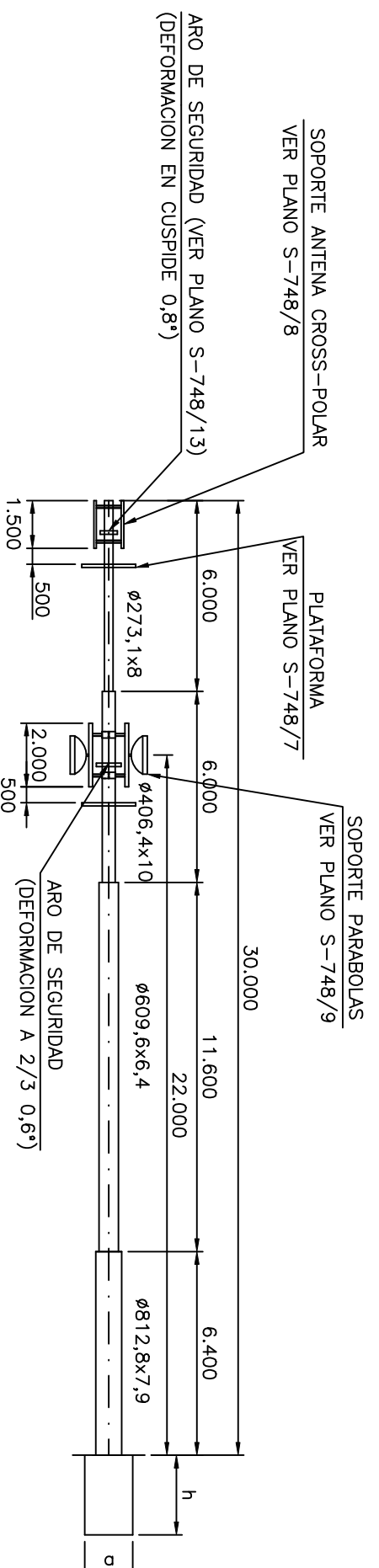
11 11 03

Dibujado

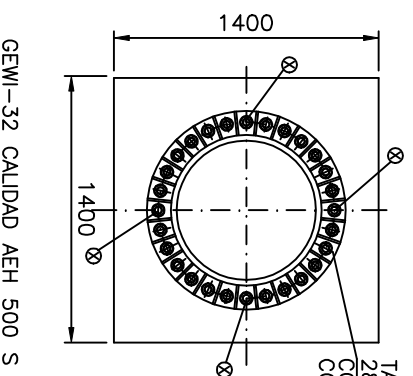
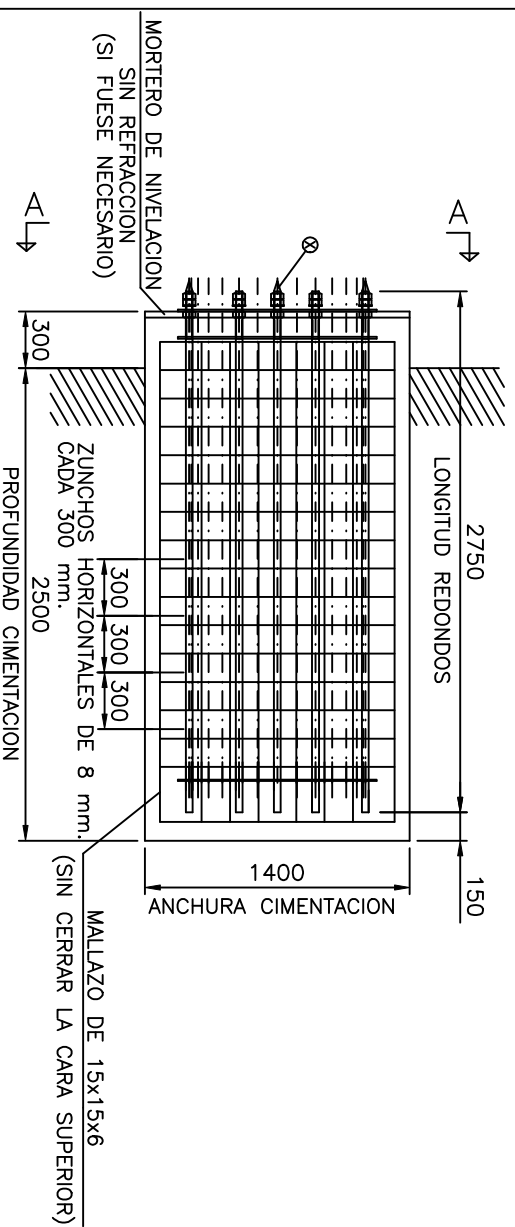
S. FIERRO

Comprobado

M. COSTALES



TORRE TUBULAR 30 M ESCALA 1/200



SECCION A-A
NOTA.- LOS REDONDOS MARCADOS CON \otimes ACABARAN EN PUNTA

CIMENTACION	
TIPO TERRENO	ANCHURA(m)
BLANDO	2,30
MEDIO	2,00
DURO	1,70
ROCOSOSO	1,40

TABLA DE PESOS		
TRAMOS	LONGITUD (m)	PESO (kg)
TRAMO Ø812,8x7,9	6,4	1436
TRAMO Ø609,6x6,4	11,6	1592
TRAMO Ø406,4x10	6	852
TRAMO Ø273,1x8	6	320
TOTAL		4200

NOTA: EN EL PESO ESTA INCLUIDA LA ESCALERA

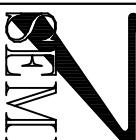
CIMENTACION ESCALA 1/40

CIMENTACION					
ALTURA TORRE	COEFICIENTE COMPRESIBILIDAD	ALTURA h (m)	ANCHURA a (m)	VOLUMEN EXCAVACION m ³	VOLUMEN HORMIGONADO m ³
30	8	2,50	2,30	13,22	14,28
	12	2,50	2,00	10	10,8
	16	2,50	1,70	7,22	7,80

- TODO CAMBIO EFECTUADO EN ESTE PLANO DEBE SER COMUNICADO A LA OFICINA TÉCNICA Y CUALQUIER MODIFICACION EN LAS DIMENSIONES DEBE SER VALIDADA POR LA MISMA
- CUANDO NO SE INDIQUEN "TOLERANCIAS DE CONJUNTO" SE APLICARÁ LA INSTRUCCION I.210.10

TOLERANCIAS DEL CONJUNTO	TOLERANCIAS PARA ELEMENTOS	PROYECTADO POR	NOMBRE	FECHA	V.B.
LONG.TOT. = ± mm	ANCH.TOT. = ± mm	SEGON INSTRUCCION S.E.M.I.			
DIST. ENTRE TAL. = ± mm	MED.PARC. = ± mm	I-210.10			
ANGULOS = ± °	DIAMETROS = ± mm				
¿ SON DE APLICACION LAS TOLERANCIAS ?		<input checked="" type="checkbox"/> SI	APROBADO POR	E.M.B.	27-05-99

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MONTAJES INDUSTRIALES S.A. BARCELONA Nº 19 28004 MADRID
RETEVISION MOVILES



TORRE TUBULAR 30M
ESQUEMA Y CIMENTACION



Nº OBRA:	PLANO Nº	REVISION Nº	ANTEPROYECTO
	S-748/17-7	2	<input checked="" type="checkbox"/> PROYECTO

ESCALA 1/200 1/40 PLANO DE