

TORRES E MASTROS PARA SUPORTE DE ANTENAS

Por Eng. Pedro Augusto Cassimiro de Araújo PY2TNX

As torres e mastros são largamente utilizados pelos usuários das telecomunicações, como radioamadores, radio escutas, faixa do cidadão e outros.

O objetivo dos mastros e torres é de suportar as antenas distante do solo, de maneira segura e eficiente. As antenas devem ficar distantes de objetos metálicos. Como objeto metálico entende-se por fios de energia elétrica, telefônicos, varais, calhas, rufos, estruturas de concreto (que contem vergalhões de aço em seu interior) e mesmo estruturas de aço das edificações.



Mastro com antena dipolo.

elementos podem ser antenas, bandeira e velas nas embarcações por exemplo.

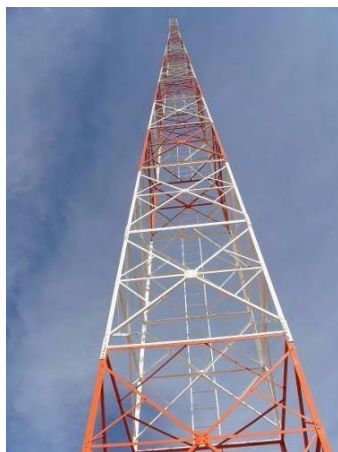
O significado de mastro é de uma peça de metal ou madeira de pequena espessura em relação ao seu comprimento, instalada na posição vertical, utilizada para suportar algum elemento. Estes

Planejamento

Já as torres, no nosso caso, são estruturas metálicas em que a altura é bastante superior à largura, instalada na posição vertical, feitas em forma de treliça em elementos de aço.

Um bom planejamento e estudo de qual vai ser o suporte (torre ou mastro) e tipo de antena vai redundar em sucesso em seu empreendimento. Além das antenas ficarem eficientes, no sentido de irradiação ou recepção, o conjunto de antenas, mastros ou torres tem que ser seguro, quanto a descargas elétricas, quedas devido ao vento e para as pessoas que as instalam.

Ao se ter em mente a instalação de antenas, é necessário estudar e planejar tudo, pois existem muitas variáveis, como tipo de antenas, alturas, obstáculos,



Torre tipo autoportante de formato piramidal.

tamanho do terreno, construção da malha de aterramento, giro da antena (no caso de YAGI ou quadra cúbica), para-raios, acesso para instalação e manutenção, etc.

É mais fácil e econômico fazer em estudo completo do assunto, discutir os vários aspectos com os colegas e tomar opinião de pessoas mais entendidas e com experiência, do que fazer uma instalação de qualquer maneira e não conseguir o sucesso esperado ou conseguir uma catástrofe.



Torre com antenas tipo Yagi e plano terra

As antenas mais comumente utilizadas são a dipolo, "V" invertida, verticais, "long-wire" e "loops", que são as fixas e como direcionais tem-se as YAGI, quadra cúbica e refletor de canto. Elas podem ser para as



Torre com duas antenas tipo Yagi

faixas de HF, VHF e UHF e consequentemente os seus tamanhos vão variar e com isto também os tipos de suas instalações. Instalar uma YAGI de dois elementos para a faixa de 40 m é

mais complicado do que a instalação de uma YAGI de 10 elementos para a faixa de 2 m.

As antenas, sempre que possível, devem ser instaladas longe do solo e de objetos metálicos, de maneira que mantenham suas características (impedância, lóbulos de irradiação etc.). Para tal, faz-se o uso de mastros ou torres, dependendo do tipo de antena e dos materiais e terrenos disponíveis.

Deve-se tomar cuidado, no caso de instalação de antenas direcionais, de se levar em consideração o seu raio de giro, de maneira que elas não interceptem outros objetos na sua redondeza.

Torres

As torres podem ser de vários tipos, quanto ao seu formato e a forma de fixação.

Uma torre tipo autoportante é aquela que tem sua base fixada diretamente no solo e as estaiadas são apoiadas no solo e mantidas na sua posição com auxílio de estais ou espias. Estai ou espia é um arame (fio) ou cordoalha, geralmente de aço galvanizado, que é fixado em uma extremidade na torre e a outra numa ancoragem no solo.

As torres tipo estaiadas geralmente, com formato triangular o quadrangular, tem largura de 20 a 25 cm para alturas até 12 m. /se a largura for de 28 cm sua altura pode chegar a 20 m. Como a distância entre os pontos de fixação dos estais é grande em relação a largura da torre, a mesma é bastante flexível. Deve-se tomar cuidado com o excesso de flexibilidade, pois pode colocar a torre em colapso. Se aumentarmos a largura da torre, a flexibilidade diminui, independente das espessuras dos seus elementos constituintes (barras horizontais, inclinada e montantes). Por razões econômicas é preferível aumentar a largura da torre que as espessuras de seus elementos.



Torre tipo autoportante de formato reto.

Um outro tipo de torre que é utilizada é a dobrável (“tilt-over”). Ela permite a instalação da antena e rotor, com a extremidade da torre próxima do chão. Após a instalação, a torre é desdobrada e fixada em sua posição vertical. Estas torres em geral podem atingir a altura de 15 m.

Os americanos utilizam muito a torre tipo telescópica (“crank-up”), que também permite a montagem da antena e rotor com a extremidade do módulo superior da torre próximo do solo e depois a torre é erguida. Deve-se tomar cuidado ao erguer os módulos da torre telescópica, travando-os convenientemente a medida que vão sendo erguidos. Muito cuidado deve se ter ao

travar os módulos, pois qualquer falha pode correr acidente e danos materiais.

Na torre mista, dobrável e telescópica, primeiro é montada a antena e rotor e então a torre é desdobrada e depois seus módulos são distendidos.



Mastro dobrável



Torre dobrável sendo erguida



Torre telescópica sendo montada.



Torre dobrável sendo erguida.



Torre telescópica em posição de ser deslizada



Torre telescópica já erguida.

As torres podem ser de vários tipos, quanto ao seu formato e a forma de fixação.

Uma torre tipo autoportante é aquela que tem sua base fixada diretamente no solo e as estaiadas são apoiadas no solo e mantidas na sua posição com auxílio de estais ou espias. Estai ou espia é um arame (fio) ou cordoalha, geralmente de aço galvanizado, que é fixado em uma extremidade na torre e a outra numa ancoragem no solo.

As torres tipo estaiadas geralmente, com formato triangular o quadrangular, tem largura de 20 a 25 cm para alturas até 12 m. /se a largura for de 28 cm sua altura pode chegar a 20 m. Como a distância entre os pontos de fixação dos estais é grande em relação a largura da torre, a mesma é bastante flexível. Deve-se tomar cuidado com o excesso de flexibilidade, pois pode colocar a torre em colapso. Se aumentarmos a largura da torre, a flexibilidade diminui, independente das espessuras dos seus elementos constituintes (barras horizontais, inclinada e montantes). Por razões econômicas é preferível aumentar a largura da torre que as espessuras de seus elementos.

Um outro tipo de torre que é utilizada é a dobrável (“tilt-over”). Ela permite a instalação da antena e rotor, com a extremidade da torre próxima do chão. Após a instalação, a torre é desdobrada e fixada em sua posição vertical. Estas torres em geral podem atingir a altura de 15 m.

Os americanos utilizam muito a torre tipo telescópica (“crank-up”), que também permite a montagem da antena e rotor com a extremidade do módulo superior da torre próximo do solo e depois a torre é erguida. Deve-se tomar cuidado ao erguer os módulos da torre telescópica, travando-os convenientemente à medida que vão sendo erguidos. Muito cuidado deve se ter ao travar os módulos, pois qualquer falha pode correr acidente e danos materiais.

Na torre mista, dobrável e telescópica, primeiro é montada a antena e rotor e então a torre é desdobrada e depois seus módulos são distendidos.

Sendo a torre uma estrutura de responsabilidade, a mesma deve ser projetada e construída por pessoal qualificado e atendendo as normas técnicas. Há vários casos na literatura de torres que entraram em colapso por não atenderem os requisitos técnicos mínimos, causando danos materiais e humanos.

O projeto de uma torre deve ser feito por um engenheiro civil e levar em consideração os seguintes fatores:

- Peso próprio da estrutura.
- Cargas permanentes (peso das antenas e rotor).
- Cargas acidentais (peso das pessoas que irão montar a torre e antenas)
- Carga devido ao vento (por dois métodos: estático e dinâmico).
- Temperatura.
- Deslocamento das fundações.
- Método de montagem da torre.

Devem atender as seguintes normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas:

- NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações.
- NBR 8800 – Projeto de Estruturas de Aço

O projeto visa a segurança da estrutura e a economia de materiais e serviços. Os tipos de materiais, como cantoneiras, barras redondas, perfis dobrados especiais, barras chatas ou tubos deverão ser escolhidos de acordo com suas disponibilidades e economia. Estes elementos em geral são de aço, mas podem ser de alumínio (mais caro).

Cada tipo de torre ou mastro tem suas vantagens e desvantagens, portanto deve ser feita uma avaliação previa de cada caso específico.

O vento é um fator importante no projeto de torre ou mastros e também das antenas, pois sua força atuante são proporcionais ao quadrado da sua velocidade.

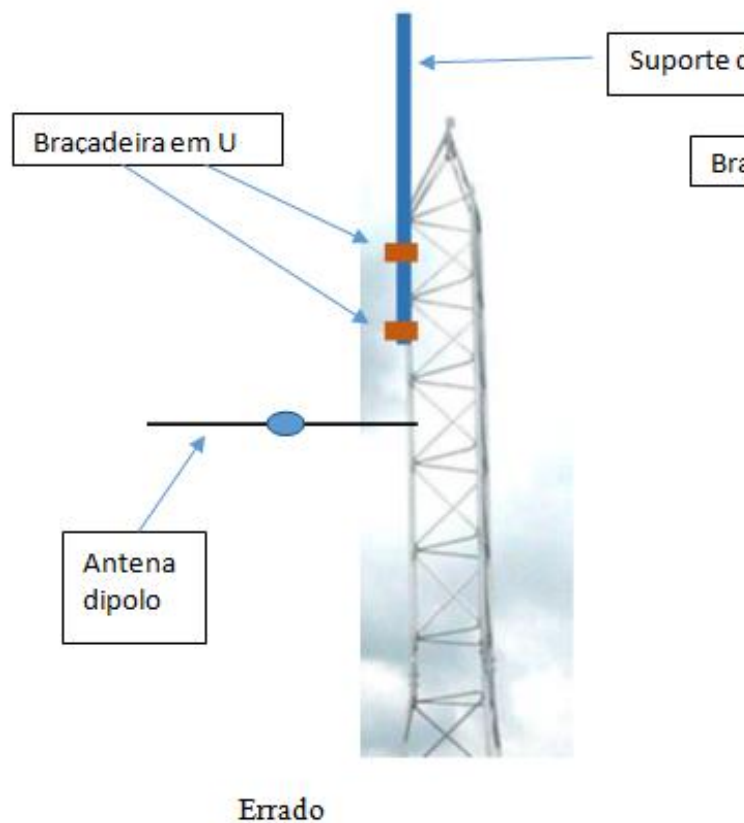
As torres podem ser fabricadas em módulos com 3 metros de comprimento (ou eventualmente 6 metros). A união entre os elementos verticais, horizontais e inclinados de uma torre pode ser feita por solda ou parafusos.

Uma observação importante para a estabilidade e segurança da estrutura de uma torre é que as forças a serem aplicadas na mesma, tais com fixação de estais, antenas de fio, suporte de antenas etc. devem ser feita nos nós. Entende-se como nó a junção entre os elementos verticais, horizontais e inclinados da torre. Nunca aplicar uma força num elemento num ponto situado entre dois nós. Os elementos trabalham com esforços de compressão ou tração e não foram dimensionados para esforços de flexão, que ocorre quando é aplicada uma força entre dois nós.

A localização de uma torre ou mastro deve ser tal, que se tombar, não atinja linhas de energia elétrica (de alta ou baixa tensão).



Formas corretas de fixação do estai na torre.



As torres tipo autoportantes podem ser instaladas em terrenos de poucas dimensões. Já as estaiadas necessitam de mais espaço.

Quando a torre ou mastro estiver situado nas proximidades de aeroportos e aeródromos, o Comando da Aeronáutica deve ser consultado, pois a torre pode estar situada dentro da zona de proteção, que é definida por normas específicas.

De acordo com o DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo, é considerado “obstáculo” todo objeto de natureza permanente ou temporária, fixo ou móvel, que possa causar algum efeito adverso à operação aérea, ou seja, que possa pôr em risco a navegação, os procedimentos de pouso e de decolagem, ou ainda um voo nivelado. Como exemplos podem ser citados edifícios, antenas, para-raios, torres e também elementos naturais da geografia local. “Os objetos considerados obstáculos precisam ser iluminados e pintados”.

A Portaria nº 256/GC5, de 13 de maio de 2011, prescreve em seu capítulo XIII, artigo 90, o seguinte:

Art. 90. Devem ser submetidos à autorização do COMAR da área de jurisdição correspondente à sua localização, objetos novos, ou extensões de objetos:

I - com altura superior a trinta metros (30 m) e desnível superior a sessenta metros (60 m) em relação à elevação do aeródromo/heliponto, dentro do raio de 15 km do ARP (Ponto de Referência do Aeródromo) e fora das superfícies limitadoras de obstáculos de aeródromos/helipontos com pista para aproximação visual;

II - com altura superior a trinta metros (30 m) e desnível superior a sessenta metros (60 m) em relação à elevação do aeródromo/heliponto, dentro do raio de 45 km do ARP e fora das superfícies limitadoras de obstáculos de aeródromos/helipontos com pista para aproximação por instrumentos;

Parágrafo único. Devem ser submetidas obrigatoriamente à autorização do respectivo COMAR as instalações ou construções de torres, redes de alta tensão, cabos aéreos, mastros, postes e outros objetos cuja configuração seja pouco visível à distância, que estiverem dentro dos raios estabelecidos nos incisos I e II deste Artigo.



Torre quadrangular com elementos aparafusados.



Torre construída com tubos metálicos.



Torre triangular com elementos aparafusados.



Módulos de torre construídos com tubos e barras redondas.



Torre estaiada em 4 níveis.

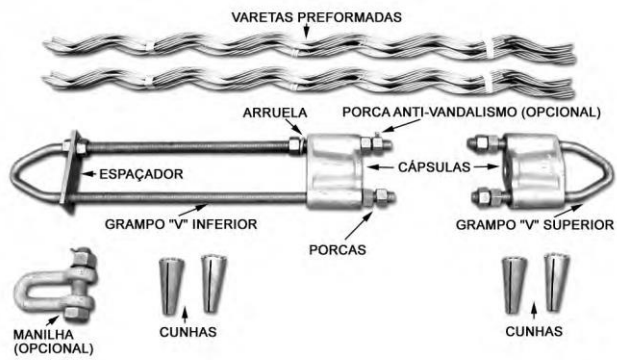
Nas torres e mastros estaiados, deve-se ter cuidado com atos de vandalismo, pois se um estai for afrouxado ou solto, a torre entra em colapso. Deve-se tomar cuidado para que crianças e mesmo adultos não autorizados subam nas torres, o que pode provocar danos e acidentes. Dispositivos especiais devem ser instalados para evitar este acesso.

Quando, para os estais, se utiliza cordoalhas de aço de diâmetros maiores, existem dispositivos especiais para sua fixação na torre e na ancora. Para cordoalhas de aço mais finas, deve-se usar sapatilhas e grampos. Estes materiais em geral são de aço galvanizado e são os preferidos.



Torre construída com montantes de chapas dobradas e cantoneiras.





Dispositivos para fixação de cabos dos estais.



Esticador



Clip



Sapatilha



Manilha



Bloco de ancoragem de 5 estais. Note o aterramento dos estais.



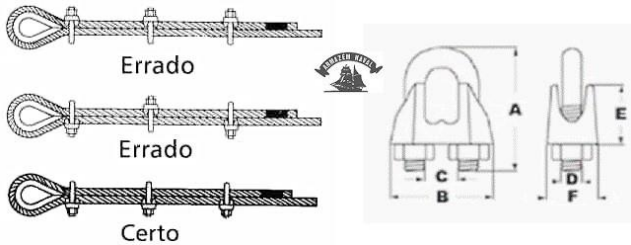
Bloco de ancoragem de 8 estais.



Bloco de ancoragem.



Cabos dos estais com sinalização.



Método de instalar as presilhas na cordoalha.



Presilha.



Aterramento do “pé” da torre.



Aterramento do “pé” da torre.

Geralmente são utilizados 3 ou 4 estais em vários níveis para suportar uma torre estaiada. Se são usados 3 estais, eles ficam espaçados em ângulos de 120 graus a partir da base da torre. Quando forem 4 estais, o ângulo é de 90 graus. Deve-se colocar um dos estais na direção do vento predominante no local, pois dá mais estabilidade ao conjunto.

No caso de uma torre estaiada em 1 nível, a ruptura de um só estai, a mesma pode entrar em colapso. Por questões de segurança é preferível colocar 2 ou mais níveis de estais, pois isto diminui a flexibilidade da torre e no caso de rompimento de 1 estai em qualquer nível, a segurança é maior.

O estais devem ser colocados quando da montagem da torre, no seu primeiro nível segundo nível e assim por diante, conforme os módulos forem sendo instalados. A verticabilidade e alinhamento da torre deve ser perfeita e este ajuste deve ser feito por meio dos esticadores. Não aplicar tensão excessiva nos estais.

As distancias das ancoragens dos estais até a base da torre geralmente é de $1/3$ da altura de suas fixações, isto é, quando não forem definidas no projeto estrutura. Quanto menor a distância entre o “pé” da torre e o ponto de fixação do estai, maior será o esforço nele. O ângulo entre o estai e o solo deve situar se entre 60° e 45° .

Quando os estais ficam próximos da antena, eles podem atuar como refletores, pois estão aterrados e isto pode alterar a impedância (e a R.O.E.) e os lóbulos de irradiação. Os estais metálicos deverão ser seccionados por isoladores de cerâmica, tipo castanha, afastados de no máximo de $1/7$ do comprimento de onda. Este critério é utilizado de torres de antenas de radiodifusão em onda média, mas podem ser aplicados no nosso caso.



Isoladores tipo castanha, de porcelana.

As superfícies do concreto da fundação da torre e blocos de ancoragem devem ficar arrasadas no mínimo 20 cm (vinte centímetros) acima do terreno, devendo ser inclinada e desempenada a fim de evitar o acúmulo de água. Para torres estaiadas deverá ser construída calçada de concreto com $1,5\text{ m} \times 1,5\text{ m} \times 0,10\text{ m}$ em torno das ancoragens dos estais, sobre solo convenientemente compactado.

Todos os estais devem ser aterrados na mesma malha de aterramento da torre. Conforme a altura da torre, um para raios tipo Franklin deve ser instalado no seu topo. A base da torre e o cabo deste para raios devem ser aterrados nesta malha.

Geralmente uma torre é montada em módulos já pintados (de 3 ou 6 metros). Como a tinta é isolante elétrico, estes módulos devem ser conectados eletricamente entre si, a fim de que qualquer corrente elétrica seja conduzida para a malha de aterramento.

Os “pés” da torre geralmente são fixados na fundação por intermédio de chumbadores. Estes devem ser munidos de porca e contra porca.

Todos os detalhes da estrutura devem ser projetados de forma a facilitar a drenagem d'agua e os componentes

devem ser de fácil acesso, no caso de uma pintura de manutenção.

O transporte de estrutura da torre, bom como o manuseio de suas partes devem ser feitos com cuidado, de modo a evitar danos na pintura ou galvanização.

O raio de curvatura mínimo deve ser adotado nos pontos de amarração dos estais na torre e nas ancoragens, e para isto é que são usadas sapatilhas apropriadas.

Os estais serão fixados na torre mediante dispositivos especiais de fixação que possibilite a equalização e distribuição de esforços para todos os montantes. Não é permitida a fixação de estais diretamente nos montantes ou diagonais.

Todos os materiais, utilizados em estruturas para torres, deverão ser compatíveis entre si, quanto a série eletroquímica, para evitar corrosão eletrolítica.

Conforme a altura da torre, ela deve ser sinalizada de acordo com o COMAR e pintada em lances alternados de 6 metros com as cores branca e laranja (ou vermelho). O tipo de tinta a ser utilizado deve ser constituída por percloroetileno primário a base de resina isocianato e tinta à base de resina poliuretano alifático, aplicados seguindo as recomendações do fabricante do produto.

As torres, estais, ancoragens etc. devem ser inspecionadas periodicamente, verificando a tensão dos estais, sinais de corrosão, lubrificação das dobradiças (quando de torres dobráveis), lubrificação do rotor e seu eixo, aperto dos parafusos e porcas, condições do aterramento etc.

Quando os estais e ancoragens ficarem junto ao acesso de pessoas e veículos, os mesmos devem ser sinalizados de maneira e evitar colisões.

Mastros

Os mastros são definidos como elementos de aço ou madeira, de pequena seção transversal e grande comprimento.

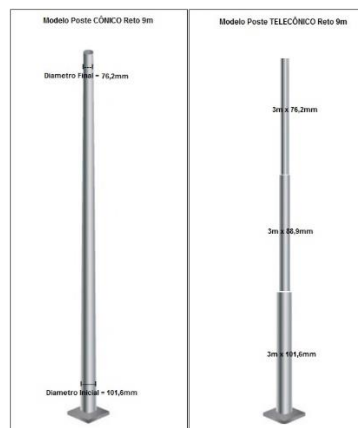
Se for utilizar mastro de madeira, a mesma deve ser durável e para isto ser tratada com preservativos que impeçam a proliferação de fungos e insetos. Uma madeira boa para mastro é o eucalipto pois possui boa resistência mecânica e sua estrutura é bem retilínea.

Os tubos de aço são também usados como mastros e podem ter sua geometria reta, cônica ou telescópica. Estes mastros devem ser munidos de degraus, para permitir o acesso às antenas. Geralmente são construídos com pedaços de vergalhão de aço,

dispostos alternadamente nos lados do mastro, a distancias de 30 a 40 cm.



Degraus no mastro.



Mastros cônico e telescópico.



Mastro reto.

Os mastros, devido a sua grande flexibilidade, podem se deslocar lateralmente quando da subida do instalador. Para evitar isto, podem ser colocados estais provisórios de corda de nylon, instalados em um ou mais níveis.

Os mastros são utilizados para instalar pequenas antenas direcionais a antenas de fio, tipo dipolo, longwire etc., pois as mesmas têm pequenas superfícies e oferecem pequenas resistências ao vento.

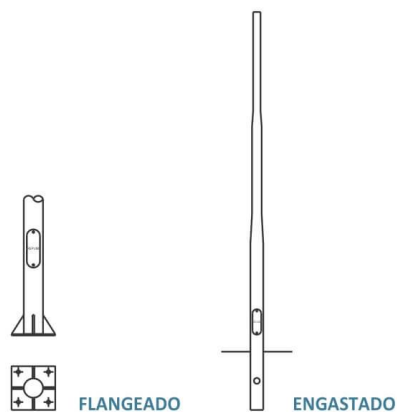
Mastros de pequena altura podem ser instalados sem muita preocupação. Já os mais altos e que vão suportar antenas de maior superfície, necessitam de um cálculo estrutural feito por profissional habilitado.

Muitas recomendações feitas na seção das Torres, podem ser aplicadas para os mastros.



Tipo de mastro articulado.

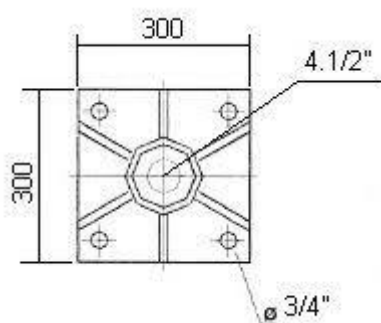
Pode ser utilizada solda para as emendas ou mesmo luvas deslizantes e que podem ser soldadas ou aparafusadas.



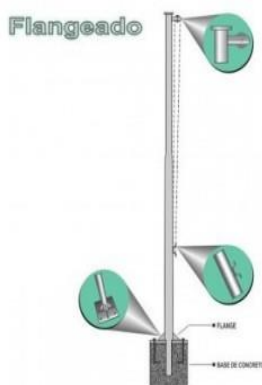
Mastro com flange e engastado no solo.



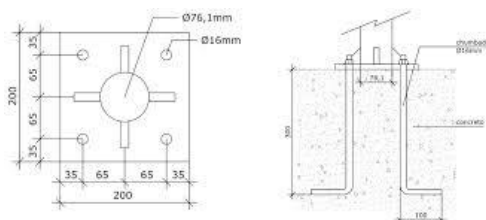
Roldana.



Base com flange e 6 aletas de reforço.



Mastro com roldana.



Base com 4 aletas de reforço.

Para evitar a subida nos mastros, quando se usa antenas de fio, podem ser utilizadas roldanas, o que facilita a instalação e manutenção das mesmas.

Para a construção de mastros, deve-se tomar cuidado ou mesmo evitar fazer as emendas dos tubos com o uso de luvas rosqueáveis, pois quando se faz a rosca no tubo, a seção do mesmo fica diminuída e conseqüentemente o conjunto perde resistência. O rompimento ocorre justamente na região da rosca do tubo.

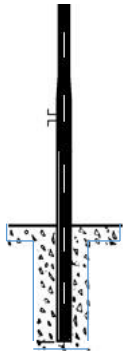
Geralmente na base do mastro metálico, a solda que o une a chapa, fica com pouca resistência. Faz-se então um reforço com aletas de chapa, conforme mostrado nas figuras acima.

A fixação do mastro no solo pode ser feita por intermédio de um flange, com furos, onde são passados os chumbadores ancorados em uma base de concreto, ou o mastro pode ser embutido simplesmente no solo.

As dimensões do flange devem ser compatíveis com os esforços que irão atuar no mastro.

A base de concreto deve ser compatível com os esforços atuantes no mastro e resistência do terreno, que deverão ser muito bem avaliados.

Já na fixação do mastro embutindo-o no solo, é feito um buraco, onde é colocado e a terra deve ser muito bem compactada, em camadas pequenas. Se o solo é muito fofo, as larguras da escavação devem ser maiores e o solo deve ser misturado com 10% de cimento, em volume e colocado em camadas que devem ser bem compactadas.



Mastro embutido no solo.



Mastro com flange fixado em base de concreto.

Recomendações de Segurança

A pessoa ou as pessoas que irão instalar ou fazer manutenções em torres, mastros e antenas devem ter noções de segurança e primeiros socorros.

Para trabalhar em alturas é necessário conhecer a Norma Regulamentadora nº35, emitida pelo Ministério do Trabalho. É altamente recomendável que a pessoa faça um curso sobre esta Norma, no SENAI ou outra instituição.

Seguem aqui algumas dicas para o trabalho em altura:

- Planejar todo o trabalho que irá ser realizado, como sequência das tarefas, tempo de realização das mesmas, equipamentos de segurança necessários etc.
- Nunca trabalhe sozinho. Tenha sempre a presença de outra pessoa no local.
- Organize todas as ferramentas, componentes, materiais e equipamentos, de maneira que fiquem de fácil acesso.
- Interromper as atividades sempre que constatar evidências de riscos graves e eminentes para a sua saúde e segurança e a de outras pessoas.
- Verifique nas redondezas se existem obstáculos, como árvores, linhas de energia elétrica ou telefônica e outras antenas que podem interferir com seu serviço.

- Zelar pela segurança e saúde de si e de outros que possam ser afetados pelas suas ações ou omissões no trabalho.

- Isolar o local de trabalho, para que outras pessoas não sejam atingidas por quedas de materiais e outros.

- Verificar as condições meteorológicas. Não trabalhar sob chuva, ventos fortes ou presença de relâmpagos e raios.

- Avaliar o risco de queda de materiais e ferramentas.

- Usar aparelhos de comunicação como transceptores portáteis.

- Utilizar equipamentos de proteção individual ou coletiva (se for o caso), devidamente aprovados pelo Ministério do Trabalho.

- Todo o equipamento de proteção deve ser inspecionado antes do início dos trabalhos e quaisquer irregularidades encontradas o mesmo deve ser descartado.

- Para as torres são utilizados dispositivos trava quedas, ao qual o trabalhador deve estar sempre conectado.

- O cinto de segurança, deve ser tipo paraquedista e deve estar conectado a torre ou ao dispositivo trava-quedas, durante toda a subida como na descida do trabalhador. Isto é imprescindível.

- Utilizar os demais EPIs (equipamento de Proteção Individual) que forem necessários, como capacete com fita jugular, óculos de segurança, luvas de raspa de couro etc.

- Consulte um médico, pois se você toma certos medicamentos, pode haver contraindicação para trabalho em altura.

- Algumas doenças são impeditivas para trabalho em altura, como vertigens, hipertensão arterial não controlada, epilepsia, labirintite crônica, diabetes não controlada, doença da coluna vertebral, doença psiquiátricas, enjoos, lipotimia, surdez ou limitação física transitória e qualquer doença que possibilite a perda de consciência repentina ou desequilíbrio

- Doenças ou condições físicas que desaconselham o trabalho em altura são gripes e resfriados fortes, febre de qualquer natureza, indisposições gástricas (diarréias, vômitos), tonturas, dores de cabeça, falta de alimentação adequada, indisposições físicas, stress etc.

Formatação do texto:

Gilmar de Moura Gaspar – PY2GMG

Casa do Radioamador de Ribeirão Preto
www.casadoradioamador.org.br

Bibliografia

Antenas y Lineas, nociones teóricas – Dominguez Raúl (Eddie)

Portaria nº 256 GC5, de 13.05.2011_Atualizada Port 271

Procedimentos de Projeto para Torres Metálicas Auto-sustentadas, Estaiadas e Postes Metálicos – TELEBRAS

Verificação Estrutural de uma Torre de Telecomunicações Treliçada de Aço com 60 m de Altura e Seção Triangular-Escola Politécnica – UFRJ

Instalação de Estações Anemométricas – Boas Práticas - Empresa de Pesquisa Energética – EPE

Análise Estática de Torres Metálicas Treliçadas Autuportantes para Linha de Transmissão – Kellen de Souza Singh