

## ASTM A694 F65 – Aço forjado de alto escoamento

Aço carbono forjado para flanges e conexões de dutos de alta pressão

**AÇO CARBONO** **ESCOAMENTO MÍNIMO: 450 MPa (65 KSI)** Aço carbono (ou baixa liga) forjado especificado pela ASTM A694/A694M, grau F65, com escoamento mínimo de 450 MPa (65 ksi). É o material de flanges, conexões e peças forjadas que ligam tubos API 5L X65 em dutos de transmissão de óleo e gás de alta pressão, onde o A105 (escoamento de 250 MPa) não acompanha a resistência do tubo.

### DESIGNAÇÕES

|           |                                                                                                   |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Comercial | A694 F65, F65                                                                                     |
| Outras    | Tubo correspondente: API 5L X65 (L450); flanges de duto MSS SP-44 F65; conexões MSS SP-75 WPHY 65 |

### NORMAS POR FORMA

|                                               |                                      |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| Forjado (flanges, conexões, válvulas e peças) | ASTM A694/A694M F65                  |
| Requisitos comuns                             | ASTM A961/A961M; ASTM A788/A788M     |
| Dimensional de flanges                        | MSS SP-44 / ASME B16.5 / ASME B16.47 |
| Conexões soldáveis                            | MSS SP-75 WPHY 65                    |
| Tubo de linha correspondente                  | API 5L X65 (L450)                    |

### COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%) ASTM A694/A694M (análise de corrida)

| C       | Mn      | P       | S       | Si          | Cu, Ni, Cr, Mo, V, Nb, B | Fe      |
|---------|---------|---------|---------|-------------|--------------------------|---------|
| ≤ 0,30* | ≤ 1,60* | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | 0,15 – 0,35 | informar no certificado* | balanço |

**PROPRIEDADES MECÂNICAS** Tratado termicamente (normalizado, normalizado e revenido ou temperado e revenido), à temperatura ambiente – ASTM A694

|                                  |                                                                              |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Limite de escoamento (0,2%)      | ≥ 450 MPa (65 ksi)                                                           |
| Resistência à tração             | ≥ 530 MPa (77 ksi)                                                           |
| Alongamento (50 mm)              | ≥ 20%                                                                        |
| Charpy V                         | só quando especificado no pedido (requisito suplementar ou norma do cliente) |
| Dureza máx. para serviço com H2S | ≤ 22 HRC (NACE MR0175 / ISO 15156-2)                                         |

### PROPRIEDADES FÍSICAS típicas

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Densidade                     | 7,85 g/cm³ (típico)     |
| Módulo de elasticidade        | ≈ 205 GPa (típico)      |
| Condutividade térmica (20 °C) | ≈ 45 W/m·K (típico)*    |
| Expansão térmica (20–100 °C)  | ≈ 11,7 µm/m·K (típico)* |

### PROCESSAMENTO E USO

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatura de serviço | Projetado para dutos de transmissão em temperatura ambiente. A norma não exige impacto: para serviço em baixa temperatura, pedir Charpy na temperatura mínima de projeto ou usar um material de baixa temperatura (A350 LF2, A707*).                                                                               |
| Tratamento térmico     | Obrigatório: normalização, normalização e revenimento, ou têmpera e revenimento (revenido ≥ 540 °C*). Em seções grossas, a têmpera e revenido é o caminho para atingir 450 MPa com boa tenacidade. O tratamento térmico pós-soldagem deve ficar abaixo da temperatura de revenido.                                 |
| Soldagem               | Soldável com procedimento qualificado (API 1104 / ASME IX) e consumível de resistência igual ou maior que a do tubo X65. O carbono equivalente é mais alto que o do A105 e pede pré-aquecimento em espessuras grossas*. Pedir no contrato o limite de CE e de microligantes quando o forjado será soldado no tubo. |
| Usinagem               | Boa, próxima à do A105 normalizado; no estado temperado e revenido a usinagem é mais lenta.                                                                                                                                                                                                                        |

### APLICAÇÕES

- Flanges de pescoço (WN) e cegos para dutos (MSS SP-44)
- Tês, reduções e conexões forjadas de dutos de alta pressão
- Corpos de válvulas de bloqueio de dutos
- Peças de transição entre tubo API 5L X65 e equipamentos
- Estações de compressão e de medição de gás

**Alternativas:** A105 quando o tubo é de grau baixo (B, X42) e a espessura do flange compensa a resistência menor; A350 LF2 para baixa temperatura (Charpy a –46 °C), com escoamento de 250 MPa; A694 F60 ou F70 para casar com tubos X60 ou X70.

**Fornecimento Dustre:** barras, chapas, forjados sob desenho e peças usinadas, com certificado de matéria-prima EN 10204 3.1. Serviços próprios de corte, forjamento, usinagem, tratamento térmico e ensaios (tração, dureza, impacto).

**NCM (Brasil):** barra forjada 7214.10.10. Classe fiscal: aço carbono não ligado; confirme com seu despachante.

Valores mínimos conforme a norma citada; propriedades físicas são típicas e não constituem garantia. O certificado do lote prevalece. \* Valor a conferir na edição vigente da norma.