7 Referências Bibliográficas

ADAMS, A.L.; MACEACHRAN, 1991. “Impact on casing design of thermal expansion of fluids in confined annuli”. SPE Drilling & Completion, Vol. 9, No. 3, pp. 210-216.

AZZOLA J.H., PATILLO P.D, RICHEY, J.F., SEGRETO, S.J., 2004. “The Heat Transfer Characteristics of Vacuum Insulated Tubing” SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas. Paper no. 90151

AZZOLA, J.H., PATTILLO, P.D., RICHEY, J.F., TINKER, S.J., MILLER, R.A.,SEGRETO, S.J., 2004, “Application of Vacuum Insulated Tubing to Mitigate Annular Pressure Buildup”, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 26-29 September, Houston, Texas. Paper no. 90232.

BEGGS, H.D., ROBINSON, J.R.,1975. Estimating the viscosity of crude oil systems. Journal of Petroleum Technology, Vol. 27, No. 9, pp. 1,140-1,141. Paper no. 5434.

BRADFORD, D.W., FRITCHIE JR., D.G., GIBSON, D.H., GOSCH, S.W., PATTILLO, P.D., SHARP, J.W., TAYLOR, C.E.,2004, “Marlin Failure Analysis and Redesign: Part 1 - Description of Failure”, SPE Drilling & Completion. Paper no. 88814.

ÇENGEL, Y. A., BOLES, M. A., 2006, “Termodinâmica”, 5a Edição, McGraw Hill, São Paulo.

ELLIS, R.C., FRITCHIE,D.G. Jr., GIBSON, D.H.,GOSCH,S.W.,PATTILLO, P.D., 2002. Marlin failure analysis and redesign: part 2, redesign. IADC/SPE Drilling Conference, Dallas, Texas. Paper no. 74529.

FERREIRA, M.V.D., SANTOS, A.R., VANZAN, V., 2012, “Thermally Insulated Tubing Application to Prevent Annular Pressure Buildup in Brazil Offshore Fields”, SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, Galveston, Texas, USA.Paper no. 151044.

GONZALES, A.C, BAJWA, F.J., 2010, “Integrated SAGD Thermal Stress Modeling”, SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 1-3 December, Lima, Peru. Paper no. 139342.

GOSCH, S.W., HORNE, D.J., PATTILLO, P.D., SHARP, J.K., SHAH, P.C., 2002. “Marlin Failure Analysis and Redesign; Part 3, VIT Completion With Real-Time Monitoring.” International Association of Drilling Contractors or the

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA

Society of Petroleum Engineers, 26-28 February, Dallas, Texas. Paper no. 74530.

HALAL, A.S. AND MITCHELL, R.F, 1994. “Casing design for trapped annulus pressure buildup.” SPE Drilling & Completion, Vol. 9, No. 2, pp. 107-114.

HASAN, A.R AND KABIR, C.S., 2002. “Fluid flow and heat transfer in wellbores.” Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas.

HASAN, A.R.;IZGEC, B., KABIR, C.S., 2010, Sustaining Production by Managing, Annular-Pressure Buildup”, SPE Production & Operations, Paper no. 120778.

HOLMAN, J.P., 1983. “Transferência de Calor.” McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., BERGMAN, T.L., LAVINE, A.S., “Fundamentals of heat and mass transfer”, John Wiley & Sons, 2007

KREITH, F. 1977, “Princípios da Transmissão de Calor”, 3a Edição, Editora Edgard Blücher, São Paulo.

MCDONALD, A.T., FOX, R.W., Introdução à Mecânica dos Fluidos, Rio de Janeiro, Livro Técnico e Científico Editora, 1998.

MOE, B. AND ERPELDING, P.,2001 “Annular Pressure Buildup: What Is It and What to do About It,” Deepwater Technology, p 21.

MOYER, M.C., LEWIS, S.B., COTTON, M.T.,PEROYEA, M.,2012. “Challenges Associated With Drilling a Deepwater, Subsalt Exploration Well in the Gulf of Mexico: Hadrian Prospect”, SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, 20-21 June, Galveston, Texas, USA. Paper no. 154928.

NEGI, L. S., 2008, “Strength of Materials”, McGraw Hill, New Delhi

OUDEMAN, P AND BACCAREZA,1993. “ Field Trial Results of Annular Pressure Behavior in a High-Pressure/High-Temperature Well” . SPE Offshore Europe Conference Aberdeen. Paper no. 26738

OUDEMAN,P., KEREM, M.,2004 “Transient Behavior of Annular Pressure Build-up in HP/HT Wells” 11th Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, U.A.E, 10-13 October. Paper no. 88735

PATANKAR, S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. New York:Hemisphere Publishing Corporation, 1980.

PATTILLO P.D., COCALES, B.W, MOREY, S.C.,2004 Analysis of an Annular Pressure Buildup Failure During Drill Ahead” SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, 20-21 June, Galveston, Texas, USA. Paper no. 90151.

PATTILLO, P.D.,BELLARBY, J.E.,ROSS, G.R., GOSCH, S.W., MCLAREN, G.D., 2004, “Thermal and Mechanical Considerations for Design of Insulated Tubing”, International Association of Drilling Contractors or the Society of

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA

Petroleum Engineers, Amsterdam,Holanda. Paper no.79870

PAYNE, M.L., PATTILLO II, P.D., MILLER, R.A., JOHNSON, C.K., 2007. “Advanced Technology Solutions for Next Generation HPHT Wells.” International Petroleum Technology Conference, 4-6 December, Dubai, U.A.E. Paper no. 11463.

ROCHA, L. A. S., AZUAGA, D., ANDRADE, R., VIEIRA, J. L. B., SANTOS, O. L. A., 2006, “Perfuração Direcional”, Editora Interciência, Rio de Janeiro.

SATHUVALLI, U.B., PAYNE, M.L., PATTILLO, P.D., RAHMAN S., SURYANARAYANA, P.V., 2005.” Development of a Screening System to Identify Deepwater Wells at Risk for Annular Pressure Build-up” SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Holanda. Paper no. 92594

SORELLE, R.R., JARDIOLIN, R.A., BUCKLEY, P., AND BARRIOS, J.R., 1982. “Mathematical field model predicts downhole density changes in static drilling fluids.” SPE Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum, New Orleans, Louisiana. Paper no. 11118.

VARGO, R.F., PAYNE, M., FAUL, R., LEBLANC, J., AND GRIFFITH, J.E., 2002. “Practical and successful prevention of annular pressure buildup on the Marlin project.” SPE Annual Technical Conference. San Antonio, Texas. Paper no. 77473.

ZAMORA, M., ROY, S., SLATER, K., AND TRONCOSO, J., 2013. “Study on the volumetric behavior of base oils, brines, and drilling fluids under extreme temperatures and pressures.” SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas. Paper no. 160029.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA

8 ANEXO A

Tensões radiais, tangenciais e axiais

As variações das tensões radiais, tangenciais e axiais podem ser obtidas através das equações de Lamé, conforme dedução abaixo (Negi, 2008).

Considerando um cilindro circular, com espessura de parede constante, submetido a pressões internas e externas uniformemente distribuídas, a deformação produzida é simétrica sobre o eixo do cilindro e não altera o seu comprimento.

A Fig. A-1 apresenta a seção transversal cilíndrica do revestimento, sujeito às pressões interna P_i e externa P_o.

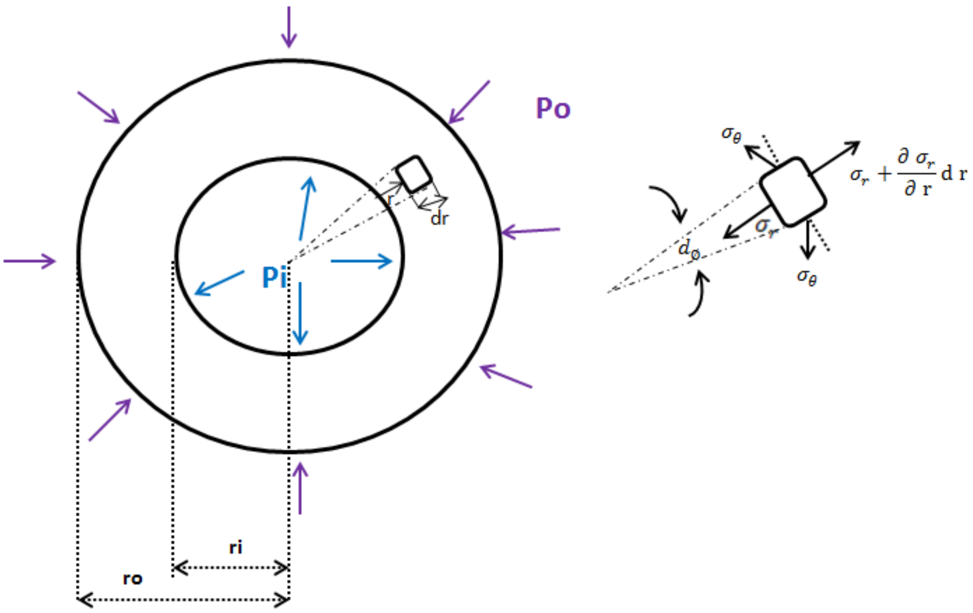

Figura A 1 - Seção transversal do revestimento

Realizando o balanço de forças ilustrado na figura acima, obtém-se:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \qquad (A.1)$$

onde σ_r e σ_θ são as tensões radial e tangencial, respectivamente. As deformações radiais ε_r e tangenciais ε_θ podem ser obtidas a partir dos deslocamentos radiais u por

$$\boldsymbol{\varepsilon_r} = \frac{\mathbf{d\,u}}{\mathbf{d\,r}} \qquad ; \qquad \boldsymbol{\varepsilon_\theta} = \frac{\mathbf{u}}{\mathbf{r}} \tag{A.2}$$

Substituindo $\mathrm{u} = \mathrm{r}\varepsilon_\theta$ na primeira equação A.2 obtém-se:

$$\varepsilon_r = \frac{\mathrm{d}(r\varepsilon_\theta)}{\mathrm{dr}} = \varepsilon_\theta + \mathrm{r}\frac{\mathrm{d}\varepsilon_\theta}{\mathrm{d\,r}} \quad \text{ou} \quad \varepsilon_r - \varepsilon_\theta = \mathrm{r}\frac{\mathrm{d}\varepsilon_\theta}{\mathrm{d\,r}} \tag{A.3}$$

As relações constitutivas do material podem ser escritas através da lei de Hook como

$$\varepsilon_\mathrm{r} = \frac{1}{\mathrm{E}}\left[\sigma_\mathrm{r}\text{-}\nu\,(\sigma_\theta + \sigma_\mathrm{z})\right] \tag{A.4}$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{\mathrm{E}}\left[\sigma_\theta\text{-}\nu\,(\sigma_\mathrm{r} + \sigma_\mathrm{z})\right] \tag{A.5}$$

$$\varepsilon_\mathrm{z} = \frac{1}{\mathrm{E}}\left[\sigma_\mathrm{z}\text{-}\nu\,(\sigma_\mathrm{r} + \sigma_\theta)\right] \tag{A.6}$$

onde ε representa as deformações e σ as tensões, os subscritos $r, \theta\; e\; z$ são referentes às direções radial, tangencial e axial, E é o módulo de elasticidade do material e ν é o coeficiente de Poisson.

Substituindo os valores de ε_r e ε_θ na equação de compatibilidade A.3, é possível escrever as deformações radiais e tangencias em função das suas tensões.

$$\sigma_r - \sigma_\theta - \nu\,(\sigma_\theta - \sigma_r) = \mathrm{r}\left(\frac{d\sigma_\theta}{\mathrm{dr}} - \nu\,\left(\frac{d\sigma_r}{\mathrm{dr}} + \frac{d\sigma_z}{\mathrm{dr}}\right)\right) \tag{A.7}$$

Assumindo que os cilindros são longos o suficiente para garantir que a seção plana permanece plana e que a deformação axial é constante ao longo do comprimento, i.e.

$$\frac{\mathrm{d}\varepsilon_z}{\mathrm{dr}} = 0 \;\; ; \quad \frac{d\sigma_z}{\mathrm{dr}} - \nu\,\left(\frac{d\sigma_r}{\mathrm{dr}} + \frac{d\sigma_\theta}{\mathrm{dr}}\right) = 0 \tag{A.8}$$

Substituindo a equação A.8 na equação A.7 obtém-se:

$$(\sigma_r - \sigma_\theta)(1 + \nu\,) = \mathrm{r}\left(\frac{d\sigma_\theta}{\mathrm{dr}}(1 - \nu^2) - \nu\frac{d\sigma_r}{\mathrm{dr}}\,(1 + \nu)\right) \tag{A.9}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA

ou

$$\frac{(\sigma_r-\sigma_\theta)}{\mathrm{r}} = \frac{d\sigma_\theta}{\mathrm{dr}}(1-\nu) - \nu\frac{d\sigma_r}{\mathrm{dr}} \quad (A.10)$$

Substituindo a equação A-1 na equação acima, obtém-se

$$\frac{d\sigma_\theta}{\mathrm{dr}} + \frac{d\sigma_r}{\mathrm{dr}} = 0 \quad (A.11)$$

Integrando a equação acima, tem-se:

$$(\sigma_\theta + \sigma_r) = 2\mathrm{A} \quad (A.12)$$

Onde 2A é a constante de integração. Substituindo σ_θ obtido na equação A-12 na equação A-1, obtém-se:

$$\mathrm{r}\frac{d\sigma_r}{\mathrm{dr}} + 2\sigma_r = 2\mathrm{A} \ ; \ \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dr}}(\mathrm{r}^2\sigma_r) = 2\mathrm{rA} \quad (A.13)$$

A solução geral para a tensão radial é encontrada integrando a equação A.13

$$\mathrm{r}^2\sigma_r = \mathrm{Ar}^2 + \mathrm{B} \ ; \quad \sigma_r = \mathrm{A} + \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{r}^2} \quad (A.14)$$

Onde A e B são constantes de integração e r é uma determinada distância do centro. Substituindo σ_r da equação A.14 na equação A.1 é possível obter a solução geral para tensão tangencial.

$$\sigma_\theta = \mathrm{A} - \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{r}^2} \quad (A.15)$$

Essas equações são conhecidas como equações de Lamé. As constantes de integração A e B são determinadas a partir de condições de contorno, que para o caso geral onde atuam simultaneamente pressão interna e externa, tem-se:

$$\sigma_r(r_i) = -P_i \ ; \ \sigma_\mathrm{r}(\mathrm{r_o}) = \text{-}\mathrm{P_o} \quad (A.16)$$

onde os subscritos *i* e *o* referem-se aos lados interno e externo do revestimento.

Substituindo as condições de contorno da equação A.16 nas equações A.14 e A.15, obtém-se

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA

$$A + \frac{B}{r_i^2} = -P_i \qquad ; \quad A + \frac{B}{r_o^2} = -P_o \tag{A.17}$$

Resolvendo o sistema de equações acima obtém-se as constantes de integração A e B para o caso geral.

$$A = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} = \frac{P_i r_i^2 - P_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \tag{A.18}$$

$$B = -\frac{P_i r_i^2 r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{P_o r_i^2 r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} = \frac{-r_i^2 r_o^2 (P_i - P_o)}{r_o^2 - r_i^2} \tag{A.19}$$

Por fim, substituir os valores das constantes nas equações nas equações A.14 e A.15, pode-se obter a equação geral para a tensão radial e tangencial .

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 \text{-} P_o r_o^2}{r_o^2 \text{-} r_i^2} \text{-} \frac{r_i^2 r_o^2 (P_i \text{-} P_o)}{r^2 (r_o^2 \text{-} r_i^2)} = \left(\frac{r_i^2 \text{-} \frac{r_i^2 r_o^2}{r^2}}{r_o^2 \text{-} r_i^2} \right) P_i + \left(\frac{\frac{r_i^2 r_o^2}{r^2} \text{-} r_o^2}{r_o^2 \text{-} r_i^2} \right) P_o \tag{A.20}$$

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2 \text{-} P_o r_o^2}{r_o^2 \text{-} r_i^2} \text{-} \frac{r_i^2 r_o^2 (P_i \text{-} P_o)}{r^2 (r_o^2 \text{-} r_i^2)} = \left(\frac{r_i^2 \text{-} \frac{r_i^2 r_o^2}{r^2}}{r_o^2 \text{-} r_i^2} \right) P_i + \left(\frac{\frac{r_i^2 r_o^2}{r^2} \text{-} r_o^2}{r_o^2 \text{-} r_i^2} \right) P_o \tag{A.21}$$

A tensão axial pode ser escrita em função das tensões radiais e tangenciais, conforme equação A.8, para um estado plano de deformação, com área da seção transversal uniforme e sem efeito de flambagem .

$$\sigma_z = \nu\,(\sigma_r + \sigma_\theta); \qquad \sigma_z = 2\upsilon \left(\frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \right) = \left(\frac{2\upsilon r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \right) P_i - \left(\frac{2\upsilon r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \right) P_o \tag{A.22}$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1121449/CA